



Pedro Gomes Torres Pereira

Licenciado em Engenharia Civil

**O Bullwhip Effect no controlo da produção em obra
Uma abordagem de utilização com base na análise
comparativa entre controlo tradicional e o Last Planner
System**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Nuno Manuel Pereira Miguéis Cachadinha

JÚRI:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida

Arguente: Prof. Doutor António Fernando Tavares Flor



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Janeiro de 2013



Pedro Gomes Torres Pereira

Licenciado em Engenharia Civil

**O Bullwhip Effect no controlo da produção em obra
Uma abordagem de utilização com base na análise
comparativa entre controlo tradicional e o Last Planner
System**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Nuno Manuel Pereira Miguéis Cachadinha

JÚRI:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida

Arguente: Prof. Doutor António Fernando Tavares Flor



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Janeiro de 2013

‘Copyright’ Pedro Gomes Torres Pereira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Por decisão do autor, o presente documento não foi escrito ao abrigo do novo acordo ortográfico

AGRADECIMENTOS

A finalização do presente trabalho só foi possível graças àqueles que de alguma forma, directa ou indirectamente, contribuíram para esta ocasião. É a todos eles que quero aqui deixar registada a minha gratidão:

Ao Professor Doutor Nuno Cachadinha, o meu profundo obrigado pela oportunidade proporcionada, pela aposta que fez em mim aquando da escolha do tema e pela excelência da orientação, que considero inigualável. O espírito de equipa em que trabalhamos foi algo que guardarei para sempre na memória como um *standard* a atingir na vida futura. Obrigado também pelos conselhos e ideias com que soube sempre enriquecer o trabalho e pela disponibilidade, sabedoria e exigência que sempre incutiu ao longo deste percurso. Não posso deixar ainda de agradecer a amizade que sempre demonstrou e que espero que saiba retribuída.

Ao Eng.º Omar Zegarra, pela verdadeira partilha de conhecimento no decorrer desta dissertação e por todas as reuniões e longas trocas de *e-mail* que sempre contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu próprio amadurecimento.

À empresa STAP, que na pessoa do Eng.º João Parreira forneceu dados e *inputs* valiosíssimos, sem os quais não teria sido possível fazer a análise comparativa.

À equipa e a todos os companheiros que dela fazem parte, pelo espírito de camaradagem e verdadeira partilha de conhecimento e experiências.

Quero deixar um especial agradecimento ao Eng.º Paulo Taborda, pela cooperação e ajuda em todas as fases deste trabalho e pela amizade desde há muito demonstrada.

Ao Miguel Macedo e ao Pedro Berto, por todos os dias passados de volta das dissertações, sem a companhia dos quais esta empresa ter-se-ia revelado muito mais difícil de superar.

À Inácia, pela amizade de sempre.

À Sara e ao Miguel, pela ajuda e carinho sempre demonstrados. Ao meu avô, sempre presente, e aos que já partiram. Continuarão sempre comigo.

À Duna, *in memoriam*.

Aos amigos, por todas as experiências passadas e futuras.

Ao Adão, que sabe sempre fazer-me sentir melhor e elevar-me a moral. Melhor amigo de sempre.

Aos meus pais e à Raquel, a quem dedico este trabalho. Pelo carinho e incentivo constantes. Pelos bons e maus momentos partilhados. Pela confiança depositada. Por me fazerem quem sou. Por tudo. Para sempre.

RESUMO

A implementação do *Last Planner System* (LPS) tem produzido bons resultados na redução do tempo útil dos empreendimentos de construção, no incremento de produtividade e na mitigação da variabilidade inerente à gestão da construção. Apesar disso, verifica-se que os níveis de *Percent Plan Complete* (PPC) atingidos com a implementação deste sistema não atingem o valor médio idealizado de 100%. Desta forma, é sugerido que existe espaço para melhorar o processo de gestão do LPS, dado que a estrutura conversacional deste sistema gera padrões de variabilidade, inerente ao processo de planeamento e gestão, que se pode amplificar ao longo da cadeia hierárquica do LPS. Este fenómeno de amplificação da variabilidade tem o nome de *Bullwhip Effect* (BWE).

O trabalho apresentado parte da premissa de que o BWE existe tanto no controlo de produção com recurso ao LPS como no controlo de produção tradicional, dado que este último não dispõe dos métodos do LPS para redução da variabilidade. É estudada uma metodologia de detecção e quantificação do BWE e apresentado um método que permite a obtenção de uma base de comparação entre o LPS e o controlo de produção tradicional, para uma posterior análise comparativa entre os dois métodos de controlo. A análise efectuada baseia-se em dois casos de estudo, o primeiro localizado no Perú e desenvolvido com LPS, e o segundo levado a cabo em Portugal com utilização de controlo tradicional.

Após a análise dos casos de estudo, propõe-se a utilização do índice de BWE como ferramenta de monitorização e controlo da variabilidade em obra. Propõe-se ainda a utilização deste indicador como um *Key Performance Indicator* (KPI), que permita aos intervenientes na gestão um controlo mais aprofundado da variabilidade inerente à produção industrial, em particular na construção.

Termos chave: BWE, Variabilidade, LPS, Controlo de Produção, Gestão de Planeamento

ABSTRACT

The implementation of Last Planner System (LPS) has produced good results in reducing the life time of construction projects, increasing productivity and mitigating the variability that is inherent to construction management. In spite of this, the Percent Plan Complete (PPC) rates are not yet at the idealized average value of 100%. As such, it is suggested that there is still space for improvement in what regards LPS's management process, given that the conversational structure of this system allows for the generation of variability patterns – inherent to the planning process and management – that can accumulate along the hierarchical chain of the LPS. This cumulative distortion of variability is designated as the Bullwhip Effect (BWE).

This study assumes the premise that the BWE exists in production control using LPS as well as in traditional production control, seeing as the latter does not embrace LPS's methods for variability reduction. A methodology for the detection and quantification of the BWE is studied and a method that allows for the attainment of a basis for comparison between the LPS and traditional production control is formulated. This basis allows for a comparative analysis between the two methods of control. The analysis is based on two case studies, one of which was developed in Peru and carried out using LPS, and the other located in Portugal, using traditional control methods.

After this analysis the use of a BWE index is suggested as a tool for monitoring and controlling variability in construction projects, as well as the utilization of this index as a Key Performance Indicator (KPI) that provides the stakeholders with a deeper control of the variability intrinsic to industrial production, in particular the construction industry.

Keywords: BWE, Variability, LPS, Production Control, Planning Management

GLOSSÁRIO

Benchmark

Standard pelo qual algo pode ser medido ou comparado

Bullwhip Effect (BWE)

Fenómeno que ocorre quando se verifica uma amplificação da variabilidade ao longo de uma cadeia.

Deliverables

Termo utilizado na gestão de projectos para designar um objecto, tangível ou intangível, produzido como resultado do projecto a ser entregue ao cliente – que pode ser interno ou externo.

Language/Action Perspective (LAP)

Teoria que assenta no princípio de que a linguagem é acção.

Last Planner System (LPS)

Sistema de planeamento e controlo da produção que aumenta a fiabilidade do fluxo de trabalho, com base nos princípios da *Lean Construction*.

Lookahead Schedule

Plano de antevisão. Sequencia o fluxo de trabalho e calendariza um grupo de actividades adjudicadas a cada encarregado e/ou equipa de trabalho.

Master Schedule

Plano geral. É uma calendarização global do empreendimento.

Percent Plan Complete (PPC)

Índice utilizado na medição do trabalho concluído. Representa o número de actividades concluídas face ao total de actividades previstas no plano semanal.

Relatório Backlog

Relatório que dispõe as actividades ou tarefas que estão prontas a ser executadas mas que não estão planeadas para essa altura.

Relatório de Causas de Não Cumprimento

Relatório que relata a identificação e detecção de problemas. Elaborado após a semana de trabalho, tendo em conta as actividades presentes no plano semanal de trabalhos.

Relatório *Constraints*

Relatório de restrições que inclui a data de resolução prometida e que relata sobre quem recai a responsabilidade da resolução.

Throughput

É o movimento de *inputs* e *outputs* através de um processo de produção.

Weekly Schedule

Plano semanal de trabalhos. Consiste na lista de trabalhos a ser desenvolvidos no período de uma semana.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BLG – Backlog
BWE – Bullwhip Effect
CCS – Construction Computer Software
CL – Central Line
CNC – Causas de Não Cumprimento
CPI – Cost Performance Index
EVM – Earned Value Management
KPI – Key Process Indicator
LA – Look Ahead Schedule
LAP – Language/Action Perspective
LC – Lean Construction
LCL – Lower Control Limit
LP – Lean Production
LPS – Last Planner system
M – Master Schedule
MQT – Mapa de Quantidade de Trabalhos
PPC – Percent Plan Complete
R – Constraints
SPI – Schedule Performance Index
UCL – Upper Control Limit
V(...) – Variância
VSM – Value Stream Mapping
W – Weekly Schedule
WBS – Work Breakdown Structure
WWP – Weekly Work Plan
 σ – Desvio Padrão
 σ^2 - Variância

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO	1
1.2.	PROBLEMÁTICA.....	2
1.3.	HIPÓTESES DE ESTUDO	3
1.4.	OBJECTIVO	4
1.5.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2.	ESTADO DO CONHECIMENTO.....	7
2.1.	FILOSOFIA LEAN	7
2.1.1.	LEAN PRODUCTION	8
2.1.2.	LEAN CONSTRUCTION.....	9
2.2.	LANGUAGE/ACTION PERSPECTIVE	11
2.2.1.	ENQUADRAMENTO	11
2.2.2.	EVOLUÇÃO DO MODELO DE GESTÃO	12
2.2.3.	SINERGIA LAP-LPS	14
2.2.4.	MECANISMO OPERACIONAL DA LAP	14
2.3.	CONTROLO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO	15
2.3.1.	MÉTODOS DE CONTROLO TRADICIONAIS	17
2.3.2.	LAST PLANNER SYSTEM	18
2.3.2.1	PROCESSO DE PLANEAMENTO DE TAREFAS DO LPS	18
2.3.2.2	PERCENT PLAN COMPLETE	19
2.3.2.3	ESTRUTURAÇÃO HIERÁRQUICA DOS NÍVEIS DE PLANEAMENTO DO LPS	20
2.4.	VARIABILIDADE	23
2.4.1.	VARIABILIDADE NA CONSTRUÇÃO.....	24
2.4.2.	CAUSAS DE VARIABILIDADE	24
2.4.3.	MITIGAÇÃO DA VARIABILIDADE COM RECURSO AO LPS.....	25
2.5.	BULLWHIP EFFECT	26
2.5.1.	INSTABILIDADE NAS CADEIAS DE ABASTECIMENTO	27
2.5.2.	CAUSAS DO BWE.....	27
2.5.3.	ANALOGIA CADEIA DE ABASTECIMENTO/LPS	28
3.	METODOLOGIA.....	31
3.1.	SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO	31
3.2.	METODOLOGIA DE RECOLHA DE DADOS	32

3.2.1.	FICHEIROS DE PLANEAMENTO	33
3.2.2.	AUTOS DE PRODUÇÃO MENS AIS.....	33
3.2.3.	ACTAS DAS REUNIÕES SEMANAIS	33
3.3.	METODOLOGIA DE DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO BWE	33
3.3.1.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
3.3.2.	IMPLEMENTAÇÃO	35
3.4.	ELABORAÇÃO DA BASE DE COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CONTROLO ...	36
3.4.1.	MASTER SCHEDULE	36
3.4.2.	LOOKAHEAD SCHEDULE	37
3.4.3.	WEEKLY SCHEDULE	37
3.4.4.	CONSTRAINTS	37
3.4.5.	CAUSAS DE NÃO CUMPRIMENTO.....	37
3.4.6.	PPC.....	37
3.4.7.	SÍNTESE DE MÉTODO PROPOSTO PARA BASE DE COMPARAÇÃO	38
3.5.	CASOS DE ESTUDO.....	38
3.5.1.	CASO DE ESTUDO A.....	38
3.5.2.	CASO DE ESTUDO B	38
3.5.3.	CONTROLO DOS RESULTADOS	39
3.6.	ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	40
4.	IMPLEMENTAÇÃO EM CASO DE ESTUDO.....	41
4.1.	DESCRIÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO.....	41
4.1.1.	CASO DE ESTUDO A.....	41
4.1.2.	CASO DE ESTUDO B	43
4.2.	PROCESSO DE TRABALHO	44
4.2.1.	CASO DE ESTUDO A.....	44
4.2.1.1	BASE DE DADOS DAS VARIÁVEIS DO LPS	44
4.2.1.2	CONSTRUÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS ORIGINAIS.....	45
4.2.1.2.1	MASTER SCHEDULE	46
4.2.1.2.2	LOOKAHEAD SCHEDULE	46
4.2.1.2.3	CONSTRAINTS.....	47
4.2.1.2.4	BACKLOG	47
4.2.1.2.5	WEEKLY SCHEDULE.....	48
4.2.1.2.6	CAUSAS DE NÃO CUMPRIMENTO	48
4.2.1.2.7	PPC	49
4.2.1.3	FILTRAGEM DE DADOS.....	49
4.2.1.4	LOGARITMAÇÃO E DIFERENCIAÇÃO	49

4.2.1.4.1	CÁLCULO DA VARIÂNCIA DAS SÉRIES AJUSTADAS	51
4.2.1.5	CONTROLO DE RESULTADOS	51
4.2.2.	CASO DE ESTUDO B	56
4.2.2.1	OBTENÇÃO DA BASE PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PESQUISADA	56
4.2.2.1.1	MASTER SCHEDULE	56
4.2.2.1.2	LOOKAHEAD SCHEDULE	58
4.2.2.1.3	CONSTRAINTS	60
4.2.2.1.4	WEEKLY SCHEDULE	62
4.2.2.1.5	CAUSAS DE NÃO CUMPRIMENTO	63
4.2.2.1.6	PPC	64
4.2.3.	BASE DE DADOS DAS VARIÁVEIS	65
4.2.3.1	CONSTRUÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS ORIGINAIS	66
4.2.3.1.1	MASTER SCHEDULE	67
4.2.3.1.2	LOOKAHEAD SCHEDULE	67
4.2.3.1.3	CONSTRAINTS	68
4.2.3.1.4	WEEKLY SCHEDULE	68
4.2.3.1.5	CAUSAS DE NÃO CUMPRIMENTO	69
4.2.3.1.6	PPC	69
4.2.3.2	FILTRAGEM DE DADOS	70
4.2.3.2.1	LOGARITMAÇÃO E DIFERENCIAÇÃO	70
4.2.3.2.2	CÁLCULO DA VARIÂNCIA DAS SÉRIES AJUSTADAS	71
4.2.3.3	CONTROLO DE RESULTADOS	72
5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	77
5.1.	CASO DE ESTUDO A	77
5.1.1.	ANÁLISE DE ÍNDICES BWE	77
5.1.2.	DISCUSSÃO	78
5.2.	CASO DE ESTUDO B	78
5.2.1.	ANÁLISE DE ÍNDICES BWE	79
5.2.2.	DISCUSSÃO	80
5.3.	ANÁLISE COMPARATIVA E DISCUSSÃO GERAL	81
5.4.	UTILIDADE DO BWE	85
5.5.	LIMITAÇÕES DO BWE	89
6.	CONCLUSÕES	91
6.1.	ANÁLISE DO ALCANCE DAS HIPÓTESES DEFINIDAS	91
6.2.	CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO	92

6.3.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	93
6.4.	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	93
7.	BIBLIOGRAFIA.....	95

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1- DIFERENÇAS ENTRE OS MODELOS DE GESTÃO DE FAYOL E A NOVA ABORDAGEM..	13
QUADRO 2.2 - ACTOS LINGÜÍSTICOS: GRAMÁTICA DA ACÇÃO	14
QUADRO 3.1 - VARIÁVEIS E DADOS DE ANÁLISE DE BWE NO LPS.....	35
QUADRO 4.1 - BASE DE DADOS DAS VARIÁVEIS DO LPS (CASO DE ESTUDO A)	44
QUADRO 4.2 - MÉDIA MÓVEL DAS VARIÁVEIS EM ANÁLISE (CASO DE ESTUDO A)	45
QUADRO 4.3 - LOGARITMAÇÃO DE DADOS (CASO DE ESTUDO A)	50
QUADRO 4.4 - DIFERENCIAÇÃO DE DADOS APÓS LOGARITMAÇÃO (CASO DE ESTUDO A).....	51
QUADRO 4.5 - DESVIO PADRÃO E VARIÂNCIA DAS SÉRIES AJUSTADAS (CASO DE ESTUDO A)	51
QUADRO 4.6 – LIMITES DE CONTROLO DE 1º, 2º E 3º NÍVEIS PARA AS VARIÁVEIS DO CASO DE ESTUDO A	52
QUADRO 4.7 - BASE DE DADOS DA VARIÁVEL M (CASO DE ESTUDO B).....	58
QUADRO 4.8 - BASE DE DADOS DA VARIÁVEL LA (CASO DE ESTUDO B)	59
QUADRO 4.9 - BASE DE DADOS DA VARIÁVEL R (CASO DE ESTUDO B).....	61
QUADRO 4.10 - BASE DE DADOS DA VARIÁVEL W (CASO DE ESTUDO B).....	62
QUADRO 4.11 - BASE DE DADOS DA VARIÁVEL CNC.....	63
QUADRO 4.12 - BASE DE DADOS DO PPC (CASO DE ESTUDO B).....	64
QUADRO 4.13 - BASE DE DADOS SÍNTESE (CASO DE ESTUDO B)	65
QUADRO 4.14 - MÉDIA MÓVEL DAS VARIÁVEIS EM ANÁLISE (CASO DE ESTUDO B)	66
QUADRO 4.15 - LOGARITMAÇÃO DE DADOS (CASO DE ESTUDO B)	70
QUADRO 4.16 - DIFERENCIAÇÃO DE DADOS APÓS LOGARITMAÇÃO (CASO DE ESTUDO B).....	71
QUADRO 4.17 - DESVIO PADRÃO E VARIÂNCIA DAS SÉRIES AJUSTADAS (CASO DE ESTUDO B) ...	71
QUADRO 4.18 – LIMITES DE CONTROLO DE 1º, 2º E 3º NÍVEIS PARA AS VARIÁVEIS DO CASO DE ESTUDO B	72
QUADRO 5.1 - ÍNDICES BWE (CASO DE ESTUDO A)	77
QUADRO 5.2 - ÍNDICES BWE (CASO DE ESTUDO B)	79
QUADRO 5.3 - COMPARAÇÃO ÍNDICES BWE.....	81
QUADRO 5.4 - UTILIDADE DO ÍNDICE BWE NO LPS	86
QUADRO 5.5 - UTILIDADE DO ÍNDICE BWE NO CONTROLO DE PRODUÇÃO TRADICIONAL	88

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1- LIGAÇÕES ENTRE AS PARTICULARIDADES DA CONSTRUÇÃO	10
FIGURA 2.2 - FLUXO DE COMPROMISSOS	15
FIGURA 2.3- GESTÃO DE PROJECTOS TRADICIONAL VS <i>LEAN</i>	16
FIGURA 2.4 - SISTEMA DE PLANEAMENTO TRADICIONAL	16
FIGURA 2.5- PROCESSO DE PLANEAMENTO DE ATRIBUIÇÃO DE TAREFAS DO LPS	17
FIGURA 2.6 - PROCESSO LAST PLANNER	19
FIGURA 2.7- ESTRUTURAÇÃO HIERÁRQUICA DO PLANEAMENTO NO LPS	21
FIGURA 2.8 - PLANO DE ANTEVISÃO DE 4 SEMANAS	22
FIGURA 2.9 - PROCEDIMENTO DO PLANEAMENTO DE ANTEVISÃO	23
FIGURA 2.10 - INTEGRAÇÃO DAS VARIÁVEIS NO PROCESSO CONSTRUTIVO	25
FIGURA 2.11 - HIERARQUIA DA CONSTRUÇÃO	26
FIGURA 2.12 - BWE NUMA CADEIA DE ABASTECIMENTO DE CONSTRUÇÃO	27
FIGURA 2.13 - AMPLIFICAÇÃO DA VARIABILIDADE NA CADEIA DE ABASTECIMENTO	28
FIGURA 2.14- ANALOGIA BWE/LPS	29
FIGURA 3.1- METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	31
FIGURA 3.2 - MODELO CAUSAL DO LPS	34
FIGURA 3.3 - FILTRAGEM DE DADOS	36
FIGURA 3.4 - OBTENÇÃO DE BASE DE COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CONTROLO	38
FIGURA 3.5 - EXEMPLO DE GRÁFICO DE CONTROLO 3σ	39
FIGURA 4.1 - APLICAÇÃO DE <i>CHIP SEAL</i>	42
FIGURA 4.2 - DIFERENÇA ENTRE <i>CHIP SEAL</i> E ASFALTO	42
FIGURA 4.3 - APLICAÇÃO DE <i>FOG SEAL</i>	42
FIGURA 4.4 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE M (CASO DE ESTUDO A)	46
FIGURA 4.5 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE LA (CSAO DE ESTUDO A)	46
FIGURA 4.6 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE R (CASO DE ESTUDO A)	47
FIGURA 4.7 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE BLG (CASO DE ESTUDO A)	47
FIGURA 4.8 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE W (CASO DE ESTUDO A)	48
FIGURA 4.9 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE CNC (CASO DE ESTUDO A)	48
FIGURA 4.10 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE PPC (CASO DE ESTUDO A)	49
FIGURA 4.11 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL M (CASO DE ESTUDO A)	52
FIGURA 4.12 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL LA (CASO DE ESTUDO A)	53
FIGURA 4.13 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL R (CASO DE ESTUDO A)	53
FIGURA 4.14 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL BLG (CASO DE ESTUDO A)	54
FIGURA 4.15 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL W (CASO DE ESTUDO A)	54

FIGURA 4.16 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL CNC (CASO DE ESTUDO A)	55
FIGURA 4.17 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DO PPC (CASO DE ESTUDO A).....	55
FIGURA 4.18 - APLICAÇÃO DE FILTROS TEMPORAIS	56
FIGURA 4.19 - LIMITE SUPERIOR DO FILTRO TEMPORAL.....	57
FIGURA 4.20 - LIMITE INFERIOR DO FILTRO TEMPORAL.....	57
FIGURA 4.21 - CONTAGEM DE ITENS APÓS APLICAÇÃO DO FILTRO.....	57
FIGURA 4.22 - CONTAGEM DE ITENS LA.....	59
FIGURA 4.23 - IDENTIFICAÇÃO DE ITENS R	60
FIGURA 4.24 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE M (CASO DE ESTUDO B)	67
FIGURA 4.25 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE LA (CASO DE ESTUDO B).....	67
FIGURA 4.26 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE R (CASO DE ESTUDO B)	68
FIGURA 4.27 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE W (CASO DE ESTUDO B)	68
FIGURA 4.28 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE CNC (CASO DE ESTUDO B).....	69
FIGURA 4.29 - GRÁFICO DE EXECUÇÃO E TENDÊNCIA DE PPC (CASO DE ESTUDO B).....	69
FIGURA 4.30 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL M (CASO DE ESTUDO B).....	73
FIGURA 4.31 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL LA (CASO DE ESTUDO B)	73
FIGURA 4.32 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL R (CASO DE ESTUDO B).....	74
FIGURA 4.33 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL W (CASO DE ESTUDO B).....	74
FIGURA 4.34 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DA VARIÁVEL CNC (CASO DE ESTUDO B)	75
FIGURA 4.35 - GRÁFICO DE CONTROLO SHEWART DO PPC (CASO DE ESTUDO B).....	75
FIGURA 5.1 - AGREGAÇÃO E DESAGREGAÇÃO DA VARIABILIDADE NAS CONVERSÇÕES (CASO DE ESTUDO A)	78
FIGURA 5.2 - AGREGAÇÃO E DESAGREGAÇÃO DA VARIABILIDADE NAS CONVERSÇÕES (CASO DE ESTUDO B).....	80
FIGURA 5.3 - COMPARAÇÃO DA AGREGAÇÃO E DESAGREGAÇÃO DA VARIABILIDADE NAS CONVERSÇÕES DOS CASOS DE ESTUDO A E B	82
FIGURA 5.4 – COMPARAÇÃO DA TAXA DE VARIAÇÃO DO PPC DOS CASOS DE ESTUDO A E B.....	83
FIGURA 5.5 – COMPARAÇÃO DA TAXA DE VARIAÇÃO DE M DOS CASOS DE ESTUDO A E B	83
FIGURA 5.6 - COMPARAÇÃO DA TAXA DE VARIAÇÃO DE LA DOS CASOS DE ESTUDO A E B	84
FIGURA 5.7 - COMPARAÇÃO DA TAXA DE VARIAÇÃO DE R DOS CASOS DE ESTUDO A E B	84
FIGURA 5.8 - COMPARAÇÃO DA TAXA DE VARIAÇÃO DE W DOS CASOS DE ESTUDO A E B	85
FIGURA 5.9 - COMPARAÇÃO DA TAXA DE VARIAÇÃO DE CNC DOS CASOS DE ESTUDO A E B	85

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção é uma actividade económica crítica, gerando sensivelmente 9% do PIB mundial (Crosthwaite, 2000; Ruddock e Lopes, 2006) e inclui-se num ambiente em constante mudança, no qual a competitividade assume um papel essencial. Este factor, aliado à crescente diminuição das margens de lucro e à incremental exigência da parte dos clientes relativamente a cumprimento de prazos, leva à necessidade de melhores resultados em termos de produtividade e custos. Os variados problemas que afectam esta indústria estão bem documentados e têm sido alvo de investigação, de entre os quais se destaca a falta de rendimento da produção (Porwal *et al.*, 2010). Esta carência na produtividade deve-se a diversas causas, nomeadamente a complexidade dos empreendimentos de construção, a incerteza e a variabilidade associadas a estes empreendimentos (Tommelein *et al.*, 1999; Fernández-Solis, 2007).

Na actual conjuntura económica a gestão da construção necessita de ferramentas que visem a optimização de todos os aspectos nocivos ao bom desempenho dos projectos, sendo a variabilidade da mão-de-obra um aspecto fulcral na fase de construção.

1.1. Motivação

Segundo Alarcón e Zegarra (2012), para enfrentar os problemas relacionados com o cumprimento dos objectivos dos projectos, a comunidade da *Lean Construction* (LC) propõe uma estratégia baseada num melhor entendimento e numa gestão mais produtiva do processo de entrega de projecto (*Project delivery process*), com recurso à ferramenta *Last Planner System* (LPS). Esta ferramenta inclui o índice de medição de trabalho *Percent Plan Complete* (PPC) e promove um incremento da *performance* em termos de planeamento, dado que à medida que se aproxima o prazo de execução das actividades aumenta o detalhe do planeamento a elas associado. Ainda assim, verifica-se que a variabilidade nos *outputs* das actividades é inevitável e que existe uma relação entre a variabilidade da produtividade do trabalho e a *performance* dos empreendimentos. Embora relevante, a redução da variabilidade do fluxo de trabalho – necessidade atendida pelo LPS - não é a única forma de os gestores da construção optimizarem as operações. Estudos confirmam que a variabilidade associada à produtividade da mão-de-obra é também importante e tem impacto negativo no desempenho dos empreendimentos de construção (Thomas *et al.*, 2002).

Ainda assim, implementação do LPS tem produzido resultados satisfatórios na redução do tempo útil dos empreendimentos de construção e no incremento de produtividade. Vários estudos (Ballard e Howell, 1998; Ballard e Howell, 2003; Alarcón *et al.*, 2008; Alsehaimi *et al.*, 2009) demonstram que, passado o tempo de aprendizagem do sistema, se obtêm níveis de PPC bastante superiores aos iniciais.

Este sistema de controlo da produção assenta largamente na teoria de que os actos linguísticos são acção – a *Language/Action Perspective* (LAP). Para se entender o sistema de promessas e compromissos inerentes ao LPS, é necessário perceber a problemática e processos intrínsecos aos actos linguísticos, bem como o papel da liderança na gestão de projectos e a sinergia entre a LAP e o LPS. Com o domínio dos conceitos da linguagem/acção da LAP consegue-se entender o ciclo de promessas/compromissos do LPS.

Como referido, um dos principais objectivos do LPS é a redução da variabilidade existente nos empreendimentos de construção (Ballard e Howell, 2003). Este factor é uma constante em qualquer sistema de produção e tem impacto no desempenho do sistema, é derivado de diversas fontes, e pode propagar-se. Quando a variabilidade se propaga, fá-lo de forma cumulativa ao longo da cadeia, dado que um *input* gera um *output* com variabilidade acumulada.

Numa cadeia de abastecimento, este fenómeno de acumulação (ou amplificação) de variabilidade tem a designação de *Bullwhip Effect* (BWE). Embora o estudo das cadeias de abastecimento não faça parte do âmbito desta dissertação, o conceito (ou essência) do BWE pode ser aplicado à cadeia de relações hierárquicas do LPS. Assim, torna-se necessário o estudo do BWE aplicado à construção de maneira a encontrar formas de mitigar este fenómeno ou perceber de que modo pode o conceito ser utilizado na optimização dos sistemas de controlo.

No entanto, afere-se que a introdução de técnicas e ferramentas *lean* ainda não está difundida em Portugal nem é a regra na maior parte das empresas a nível mundial. O controlo de produção tradicional é ainda mais afectado pelos efeitos da variabilidade, dado que não dispõe das ferramentas da LC para optimização do fluxo de trabalho e redução da variabilidade. Assim, surge a necessidade de introduzir o estudo da variabilidade inerente à produtividade do trabalho quer em empreitadas que utilizem o controlo de produção tradicional, quer naquelas que tenham já introduzido a utilização do LPS.

O estudo do BWE na cadeia de relações hierárquicas do LPS tem vindo a ser desenvolvido pela equipa de investigação do Professor Luis Fernando Alarcón da *Pontificia Universidad Católica de Chile*. A presente dissertação documenta o estudo efectuado na continuação da investigação dessa equipa.

1.2. Problemática

A indústria da construção é um factor essencial para o desenvolvimento e competitividade de um país. No entanto, apesar da sua força enquanto motor de crescimento, é também uma indústria geradora de quantidades consideráveis de desperdício, emissão de gases e consumo de energia (Spence e Mulligan, 1995). Tendo isto em conta, torna-se claro que é essencial uma boa gestão de projecto a todos os níveis.

Numa amostra de onze empreendimentos levados a cabo no Chile e de cinco empreendimentos de carácter internacional, verificou-se que os que apresentavam uma implementação bási-

ca do LPS obtiveram uma média de PPC de 63%, enquanto os que se caracterizavam por ter uma implementação formal do LPS obtiveram uma média de PPC de 80 % (Alarcón *et al.*, 2008).

Apesar de já ter sido alvo de diversos estudos (Ballard e Howell, 1994; Ballard, 2000; Bhasin e Burcher, 2006; Alarcón *et al.*, 2008), o conceito *lean* e a utilização do LPS são praticamente inexistentes no panorama Português, o que torna difícil a comparação entre os modelos de controlo de produção tradicionais e o LPS. Numa era em que apenas as empresas de construção com um controlo de produção eficaz conseguem ser competitivas, torna-se importante analisar formas de diminuir a variabilidade inerente à gestão da construção, mitigando assim os desperdícios e a própria variabilidade.

Para atender a esta necessidade, o LPS foi desenvolvido como sendo um sistema de controlo da produção para melhorar o fluxo de trabalho. Pode portanto ser entendido como um processo e qualquer processo tem variabilidade associada (Hopp e Spearman, 2008).

Apesar das bem-sucedidas implementações do LPS em empreendimentos de construção em todo o mundo, Alarcón e Zegarra (2012) sugerem que existe espaço para melhorar o processo de gestão do LPS, dado que a formulação e a articulação de conversas nos diferentes níveis de planeamento do sistema gera padrões de variabilidade. Essa variabilidade amplifica-se ao longo da cadeia e influencia a fiabilidade do planeamento. A amplificação da variabilidade surge do conceito *Bullwhip Effect*, sendo importante o seu estudo, visto que a existência do fenómeno pode afectar a capacidade do LPS de gerir eficazmente as conversações.

Considera-se também importante analisar a influência deste fenómeno em sistemas de controlo da produção tradicionais, dado que a maioria das empresas de construção ainda não implementou o LPS.

1.3. Hipóteses de estudo

Este trabalho aspira responder à seguinte questão central de investigação: Será o BWE um bom índice para avaliar quais os níveis de planeamento a implementar/melhorar para otimizar a produção?

Para dar resposta a esta questão, torna-se necessário, em primeira instância, encontrar um método que permita obter uma base de comparação entre os métodos de controlo tradicionais e o LPS. A hipótese considerada para esta primeira fase (H1) é a de que é possível calcular o PPC com base nos elementos de dados correntes no planeamento e seguimento de uma empreitada (ficheiros de planeamento e actualizações de plano base, actas de reuniões semanais, autos de controlo mensais).

Em segunda instância pretende efectuar-se uma análise comparativa entre esses dois métodos de controlo, para a qual se admitem três hipóteses:

- H2 - O BWE existe tanto com controlo de produção tradicional como com LPS.
- H3 - O BWE é menos grave com o controlo de produção com recurso ao LPS
- H4 - Existe correlação entre a existência de BWE e o cumprimento do planeamento.

1.4. Objectivo

O objectivo principal desta dissertação consiste na formulação de resposta à questão central de investigação e hipóteses de estudo supramencionadas. Para tal, é necessário efectuar uma análise sobre o modo como o BWE afecta a gestão do planeamento e qual o impacto que o mesmo causa na fase de construção de empreitadas com utilização do LPS, por oposição a empreitadas com recurso a métodos de controlo tradicionais. Para o desenvolvimento deste tema principal, delinearam-se os seguintes objectivos parcelares:

- Pesquisa e análise de uma metodologia de detecção e quantificação do BWE inerente ao LPS
- Detecção e análise da presença de BWE num caso de estudo relativo a uma empreitada com recurso ao LPS
- Obtenção de caso de estudo relativo a uma empreitada recorrendo a métodos de controlo tradicionais
- Desenvolvimento de metodologia para obtenção de uma base de comparação entre os dois métodos de controlo (LPS VS Tradicional) em caso de estudo previamente escolhido
- Análise da presença de BWE na empreitada com método de controlo tradicional

A aplicação da ferramenta LPS, integrada com a filosofia *Lean* tem demonstrado bons resultados a nível mundial (Ballard e Howell, 2003). Pretende analisar-se de que forma pode a detecção e quantificação do BWE numa empresa com métodos de controlo tradicionais contribuir para o melhoramento desses mesmos métodos ou influenciar a implementação do LPS e conceitos *Lean*.

1.5. Estrutura da dissertação

A presente dissertação contempla uma estrutura dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução ao tema, onde se apresentam os princípios motivadores do estudo e se definem as hipóteses de estudo e os objectivos a atingir. O segundo capítulo compreende a fundamentação teórica do tema em estudo, com base na análise do estado do conhecimento da LC, do LPS, LAP, Variabilidade e do BWE. No terceiro capítulo define-se a metodologia para recolha e análise de dados, bem como a metodologia de detecção e quantifica-

ção do BWE e metodologia para obtenção da base de comparação entre os diferentes modelos de controlo. O quarto capítulo refere-se à implementação em caso de estudo das metodologias definidas e apresentação dos resultados dessa implementação, bem como à descrição dos casos de estudo. No quinto capítulo procede-se à discussão dos resultados obtidos e análise comparativa dos casos de estudo. O sexto capítulo contempla a conclusão, limitações do estudo e futuros campos de pesquisa.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

Neste capítulo faz-se uma introdução aos conceitos e noções que servem de base a este documento. São alvo de análise os princípios que guiam todo o trabalho posteriormente exposto, nomeadamente o pensamento *Lean* e o conceito *Bullwhip Effect* (BWE).

Relativamente à filosofia *Lean*, aborda-se principalmente a sua vertente *Lean Construction*. Esta filosofia pretende promover a redução do desperdício e ao mesmo tempo fomentar o aumento do valor do produto e da produtividade (Womack e Jones, 1996; Sahoo *et al.*, 2008). Quando aplicada à indústria da construção, a filosofia *Lean* declina na *Lean Construction*, sendo esta uma vertente que tem vindo a tomar importância desde a década de 90.

O BWE pode ser definido como a amplificação da variabilidade na procura de um ponto a jusante para um ponto a montante de uma cadeia de abastecimento (Lee *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2004; Cachon *et al.*, 2007). Embora este fenómeno tenha já sido amplamente estudado no que se refere a cadeias de abastecimento e análises económicas, neste estudo vai ser aplicado o seu conceito e essência – a amplificação da variabilidade – a uma cadeia de relações hierárquicas de um sistema de controlo da produção – o *Last Planner System*. Este sistema é baseado em princípios *Lean*, que visam ultrapassar obstáculos reconhecidos no planeamento da construção (Ballard, 2000).

A pesquisa efectuada para a revisão bibliográfica incorreu essencialmente na consulta de diversos artigos científicos e publicações subordinados aos temas *Lean Construction*, *Last Planner System*, *Supply Chain Variability* e *Bullwhip Effect*. Foram essenciais para a pesquisa as publicações do IGLC – *International Group for Lean Construction*, do *Lean Construction Institute* e das publicações *International Journal of Production Economics*, *Construction Engineering and Management* e *Management Science*.

2.1. Filosofia *Lean*

No final da Segunda Guerra Mundial a indústria Japonesa adoptou os princípios da produção em massa de Henry Ford. As restrições com que essa indústria se deparou na altura, induziram as empresas a procurar uma forma de eliminar os excessos no seio das suas organizações. A principal inovação foi, no entanto, introduzida por Taiichi Ohno, ao desenvolver o Toyota Production System (TPS), que viria mais tarde a declinar na filosofia mundialmente conhecida por *Lean* (Industrial Technology Centre, 2004).

A filosofia *Lean* traduz-se numa série de conceitos e boas práticas que muitas organizações e empresas têm vindo a adoptar para garantir a capacidade de responder adequadamente a novos desafios, eliminando o desperdício, optimizando a produção e competindo para estar na linha da frente da inovação. A gestão *Lean* tem como alvo três metas fundamentais: fluxo, har-

monia e sincronização (Bhasin e Burcher, 2006). Estas metas são passíveis de ser aplicadas a qualquer indústria ou organização e atingi-las requer um empenho constante. Assim, a metodologia *Lean* não pode ser vista como um fim em si mesmo, mas antes como uma filosofia a ser seguida constantemente (IFS, 2004; Sahoo *et al*, 2008).

2.1.1. *Lean Production*

Do mesmo modo que a introdução da cadeia de produção em massa foi uma das grandes conquistas da produção industrial no século XX, a *Lean Production* (LP) começa já a ser reconhecida como o sistema de produção do século XXI (Womack e Jones, 1996). Segundo Clemente (2012), citando Womack (2003), a LP tem como objectivo fundamental “(...) maximizar o valor para o consumidor, minimizando-se o desperdício e os recursos necessários”.

A LP assenta a sua metodologia em cinco princípios básicos:

- Entender o valor para o consumidor – o consumidor está disposto a pagar apenas por aquilo que percebe como tendo valia.
- Identificar o fluxo de valor – é necessário analisar todas as etapas e processos na cadeia de produção para determinar quais geram na realidade valor, alterando ou eliminando o que não adiciona valor.
- Fluxo de produção contínuo – a produção deve fluir continuamente desde a matéria-prima ao produto final.
- O cliente é que “puxa” o fluxo de valor (sistema *pull*) – em vez de uma estratégia de acumulação de *stocks*, o cliente é que “puxa” o produto ao longo da cadeia de produção. O trabalho não é iniciado se não for requerido a jusante da cadeia.
- Procurar a perfeição – Após a implementação dos princípios antes mencionados, deve-se procurar a melhoria contínua da cadeia.

Estes cinco princípios funcionam em conjunto e são fundamentais para a eliminação do desperdício (Womack *et al*, 1990; Garnett *et al* 1998; Kilpatrick, 2003). É, portanto, fundamental lembrar que na filosofia *Lean* os produtos são idealizados de forma a fornecer o máximo valor para o consumidor final. Maximizar o valor e reduzir o desperdício é a forma de gerar o maior lucro e deve ser esta a máxima que os produtores, na qualidade de fornecedores do sistema de produção, têm de atingir (Ballard *et al.*, 2001).

O fluxo de valor identifica todos os processos necessários para o desenvolvimento do produto. A ferramenta utilizada para este reconhecimento é a de mapeamento de processos, que permite a definição a nível estratégico do que deve realmente ser feito. O mapeamento do fluxo de valor (do inglês *Value Stream Mapping* – VSM) permite ainda a determinação de desperdício em processos específicos e de que maneira esse processo pode ser desenvolvido mais eficientemente (Abdulmalek e Rajgopal, 2007).

Como foi já referido, a eliminação do desperdício apresenta-se como um dos pilares fundamentais da filosofia *Lean*. Peneirol (2007) refere que Ohno (1988), como grande precursor da filosofia *Lean*, indica sete tipos de desperdícios (do japonês “muda”) como sendo responsáveis por até 95% do total de custos em ambientes não *lean* (Sobreprodução; Espera; Transporte; Processamento que não acrescenta valor; Excesso de inventário; Movimento em Excesso/desnecessário de pessoal; Defeitos)

Outros autores têm ainda vindo a identificar outros tipos de desperdício, tais como:

- *Subutilização de potencial humano* – Este tipo de desperdício pode advir da fraca formação dos trabalhadores, bem como um fraco fluxo de trabalho e cultura organizacional (Macomber e Howell, 2004)
- *Making-Do* – Refere-se à gestão com falta de meios disponíveis. Este tipo de desperdício é principalmente importante na indústria da construção, visto que visa o início de actividades sem todos os pré-requisitos reunidos. Este tipo de desperdício advém dos estudos sobre o *LPS* (Koskela, 2004).

É ainda importante constatar que, segundo os princípios *Lean*, se pretende tratar o sistema de produção como um sistema *pull*, em contraste com um sistema *push*. O que diferencia um sistema *pull* de um sistema *push* é o mecanismo que acciona o movimento do trabalho no sistema. Num sistema *push* o trabalho é accionado devido a ordens externas ao fluxo do sistema – como por exemplo agendamentos. No sistema *pull*, a ordem tem origem no seio do fluxo de trabalho do sistema, ou seja, os processos recebem a autorização para serem efectuados por outros processos a jusante no sistema. Por definição, um sistema *push* agenda o trabalho com base na procura, enquanto um sistema *pull* autoriza o trabalho com base na situação actual do sistema (Hopp e Spearman, 2008).

2.1.2. *Lean Construction*

Como já foi apontado, os princípios da filosofia *Lean* são passíveis de ser incorporados em qualquer indústria. No entanto, a construção apresenta-se como sendo dotada de particularidades que a tornam distinta de outras indústrias. Koskela (1992) enuncia quatro características que tornam difícil a adopção de medidas *Lean* na construção:

- Singularidade dos empreendimentos
- A produção desenvolve-se no local de implantação
- Multiorganização temporária
- Intervenção de autoridades reguladoras

A singularidade dos empreendimentos prende-se com o facto de cada projecto ser um desenvolvido especificamente para um cliente, com necessidade e restrições únicas. Esta característica introduz problemas relativos ao controlo de processos e melhoria contínua, na medida em

que a configuração do fluxo de trabalho tem de ser especificamente desenhada para o empreendimento em questão.

O desenvolvimento da produção no local de implantação traduz-se na dificuldade inerente às restrições intrínsecas do próprio local. Para além disso, o fluxo das equipas de trabalho tem de ser levado em conta, além do fluxo do trabalho em si (Koskela, 1992; Peneirol, 2007).

A organização de um empreendimento de construção é normalmente uma organização desenvolvida com as necessidades do projecto em mente. É frequentemente concebida por diferentes empresas que podem ou não ter já trabalhado em conjunto, ligadas ao empreendimento por diferentes laços contractuais. Esta multiorganização insere dificuldades no controlo do empreendimento devido a problemas relacionados com a dificuldade de ter todas as equipas em comunicação e harmonia (Koskela, 1992).

No desenvolver do projecto e das diferentes especialidades introduz-se a obrigatoriedade da intervenção de autoridades reguladoras. A intervenção destes órgãos de regulação introduz restrições ao processo de trabalho e conseguir a aprovação para determinada solução pode provocar atrasos imprevistos no fluxo de trabalho (Koskela, 1992).

Estas particularidades da construção, especialmente as três primeiras, estão ligadas entre si. Vrijhoef e Koskela (2005) estabelecem essas ligações, como se demonstra na Figura 2.1.

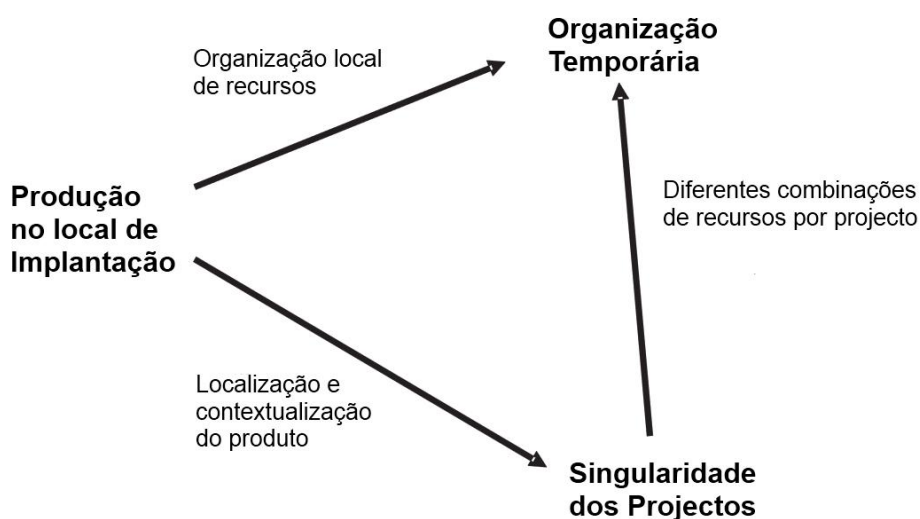


Figura 2.1- Ligações entre as particularidades da construção (Vrijhoef e Koskela, 2005)

Referindo-se a estas particularidades, Koskela tinha já concluído que devia ser admitida a hipótese de que estas contribuem para o desperdício e perda de valor e que é necessário mitigar os seus impactos ao nível do controlo e melhoria (Vrijhoef e Koskela, 2005).

Aliando as singularidades da construção descritas à necessidade de melhorar a *performance* da produção nesta indústria através de princípios *Lean*, entra-se no domínio da LC.

A LC entende-se, portanto, como a abordagem à cultura *Lean* pelo sector da construção. É com o trabalho de Koskela (1992) que se inicia a possibilidade da aplicação da filosofia *Lean* ao sector da construção. Enquanto na manufacturação os princípios *Lean* são tidos como um ponto de chegada para a produção, na indústria da construção estes princípios estabelecem-se como o ponto de partida, dado que na LC procura-se formular respostas específicas que respondam às particularidades atrás apontadas (Koskela, 2000). Desta forma, têm vindo a incorporar o estudo da LC novas vertentes tais como a gestão por conversação (*Language/Action Perspective*), a aprendizagem contínua e a complexidade de sistemas (Macomber e Howell, 2003; Koskela e Bertelsem, 2004; Peneirol, 2007).

2.2. *Language/Action Perspective*

A *Language/Action Perspective* (LAP) é uma teoria desenvolvida por Terry Winograd e Fernando Flores em 1987 que assenta nos princípios de que a base para entender os sistemas de informação é a comunicação linguística e de que a linguagem é acção – através do acto linguístico o ser humano muda o mundo. Esta perspectiva toma particular interesse para o objecto de estudo desta dissertação quando se pretende entender o LPS como uma cadeia de relações hierárquicas baseada em promessas e no cumprimento das mesmas, bem como para entender o mecanismo funcional da gestão de projectos.

2.2.1. Enquadramento

Como tem sido já referido e estudado em variados trabalhos de âmbito científico, a comunidade da LC tem-se focado na organização da produção dos empreendimentos, e na identificação do valor e fluxo (Koskela e Howell, 2002). No entanto, estes objectivos são, em última instância, desenvolvidos por pessoas. A gestão do projecto, das operações, do sistema de produção – é levada a cabo por pessoas. O ser humano é algo tão intrínseco a todas as operações e esta interactividade é tão óbvia que parece desnecessário ser sequer mencionado. Existe, porém, um factor que advém desta simbiose e que não pode ser negligenciado: a singularidade de cada indivíduo, cada qual com os seus defeitos, qualidades e idiossincrasias (Macomber e Howell, 2003). Howell *et al.* (2004) citam Flores (1982) que define gestão como sendo “(...) o processo de abertura, escuta e formulação de compromissos, incluindo uma preocupação com a articulação e a activação da rede de compromissos, constituída essencialmente através de promessas e pedidos, permitindo a autonomia da rede produtiva”. O facto de os empreendimentos serem fruto da actividade humana é positivo, no sentido em que todo o indivíduo introduz algo ao projecto. Enquanto humanos temos a capacidade de aprender, improvisar, compreender, colaborar. Estas capacidades são essenciais face à sempre presente incerteza nos empreendimentos de construção. Como humanos, temos também passados, presentes e futuros e é esse sentido de temporalidade e história que nos permite fazer e manter promessas (Macomber e Howell, 2003).

2.2.2. Evolução do modelo de gestão

No início do século XX, Henri Fayol propõe que um modelo de gestão eficaz requer cinco funções básicas:

- “Prever” e planear o futuro e elaborar planos de acção;
- Organizar a estrutura, força de trabalho e materiais;
- Chefiar as actividades;
- Coordenar, unir e harmonizar o trabalho;
- Controlar o trabalho de modo a que os planos sejam cumpridos.

Para além destas funções básicas que um gestor deve cumprir, Fayol enunciou ainda catorze princípios que devem ser seguidos:

- Divisão do trabalho – Especialização
- Autoridade com responsabilidade
- Disciplina
- Unidade de liderança
- Unidade de direcção – Objectivos
- Sujeição dos interesses individuais ao interesse geral
- Remuneração
- Centralização
- Cadeia hierárquica
- Ordem – Mão-de-obra e materiais no sítio certo à hora certa
- Integridade
- Estabilidade do volume de pessoal
- Iniciativa
- Espírito de equipa

Estes princípios estabelecem a natureza e a função da liderança (Fayol, 1970; Howell *et al.*, 2004). Este modelo adquiriu especial importância com as negociações de Henry Ford com os seus trabalhadores em 1914 (Ford, 1926). Esses operários, recebendo um salário cerca de 60% superior ao dos seus pares, de bom grado abdicaram dos seus interesses pelos de Ford (Howell *et al.*, 2004).

Flores (1982) introduz um novo modelo de gestão baseado na ideia de que o trabalho nas empresas é formular e manter compromissos (Schoop, 2001). Ao entender-se a gestão em termos de compromissos, a natureza e objectivo da liderança alteram-se do foco na meta a atingir e motivação para o fazer, para o originar a confiança necessária a que as pessoas coordenem a acção, aprendam e inovem em conjunto. Os sistemas *pull* em geral e o LPS em particular baseiam-se neste novo modelo de gestão, alicerçados em cadeias de pedidos e promessa (Ballard, 2000; Howell *et al.*, 2004).

A gestão baseada na formulação de Fayol é, portanto, actualmente contestada por este novo modelo, construído na capacidade de todos os intervenientes participarem na criação e desenvolvimento dos projectos. As principais diferenças entre os dois modelos de gestão são apresentadas no quadro seguinte:

Quadro 2.1- Diferenças entre os modelos de gestão de Fayol e a nova abordagem (adaptado de Howell *et al.*, 2004)

	Fayol	Novo modelo
Problema a resolver	Alocação e uso eficiente de recursos	Construir e manter um nível de confiança de modo a que se obtenham promessas fiáveis e aprendizagem
Visão do futuro	Criada pela gestão, transmitida aos trabalhadores	Criada em conjunto
Planeamento	Função primária da gestão, levado a cabo por peritos	A prática entre uma equipa para produzir compromissos coerentes com as promessas feitas ao cliente
Papel da gestão	"Gerir como planeado" (Johnston e Brennan, 1996)	"Gerir como organizado" - Criação de uma estrutura organizacional coerente (Johnston e Brennan, 1996)
Papel dos trabalhadores na geração de valor	Fazer o trabalho definido pelos planos e decisões da gestão	Agentes autónomos com a capacidade e responsabilidade de efectuar decisões
Modelo de liderança	Ordens e controlo	Tutoria - fomentar um ambiente organizacional que conduza à construção de confiança entre o pessoal
Motivação	Gerada externamente - Sistema de recompensas e punições direccionadas ao cumprimento das metas	Gerada internamente - As pessoas relacionam os seus interesses e inovam juntos com vista a atingir uma meta que seria impossível a um só indivíduo
Técnica principal	Planeamento com base no método do caminho crítico	Conversas/Discussões a cada nível: Plano de fase, <i>Look-Ahead</i> , <i>Weekly Work Plan</i>

A formação de uma equipa de trabalho coerente e eficiente custa tempo, esforço e ponderação. Esta nova abordagem ao modelo de gestão oferece a possibilidade da busca de interesses mútuos. A liderança deixa de ser uma questão de motivar aqueles que abdicaram dos seus interesses, para trabalhar conjuntamente com alvo a um objectivo comum.

2.2.3. Sinergia LAP-LPS

O LPS é hoje entendido como um sistema de controlo da produção que aumenta a fiabilidade do fluxo de trabalho (Macomber e Howell, 2003). Todos os intervenientes no sistema têm a responsabilidade dizer “não” em vez de permitir que um plano de trabalho ou tarefa defeituosos avancem para produção. Esta política advém dos princípios de Ohno de que um componente defeituoso não deve ser libertado para jusante da cadeia. Esta regra, que atribui a responsabilidade aos intervenientes directos no trabalho a ser realizado, é reforçada pela definição de Flores (1982) de gestão – o trabalho (físico) realiza-se quando os intervenientes se comprometem com a sua conclusão. Os gestores que seguem o controlo com LPS iniciam e articulam uma série de conversações. Estas levam a compromissos que ligam a mão-de-obra aos *deliverables* prometidos ao cliente e à coordenação dos meios necessários para o cumprimento dessas promessas (Macomber e Howell, 2003).

2.2.4. Mecanismo operacional da LAP

A realidade é criada e alterada por cada projecto - inventa-se através de actos linguísticos. Como referem Macomber e Howell (2003), o trabalho essencial nos projectos é levado a cabo por conversações construídas com base nos cinco actos básicos definidos por Davis (2000). Estes actos linguísticos encontram-se especificados no quadro seguinte:

Quadro 2.2 - Actos linguísticos: Gramática da acção (adaptado de Macomber e Howell, 2003)

Acção	Definição
Declaração	Criar um espaço de acção
Pedido	Solicitar um pronunciamento de compromisso
Promessa	Pronunciamento de compromisso para fornecer algo específico numa data específica
Apreciação	Oferecer uma opinião com ou sem qualquer base para a apreciação
Asserção	Constatação de factos.

Segundo Flores (1982), alguém com autoridade efectua uma declaração de que existe um projecto. Esse projecto existe apenas para o propósito de cumprir o conjunto de promessas feitas ao cliente. Em resposta a uma preocupação, o cliente prepara e efectua pedidos. Esse cliente negocia em seguida com o responsável, que promete cumprir os termos e condições acordados, faz o trabalho acontecer e declara-o completo. Se o cliente considerar que o trabalho efectuado não corresponde aos termos acordados, trabalha com o responsável no sentido de resolver os problemas e aprender com os erros.

O planeamento é uma conversação contínua que se prolonga pela duração de todo o projecto. As conversas do planeamento surgem das asserções dos membros da equipa relativamente aos riscos, oportunidades e valor. Com o decorrer do trabalho, a apreciação dessas asserções conduz a considerações que, por sua vez, levam a novas promessas. Este ciclo de promessas encontra-se esquematizado na Figura 2.2.

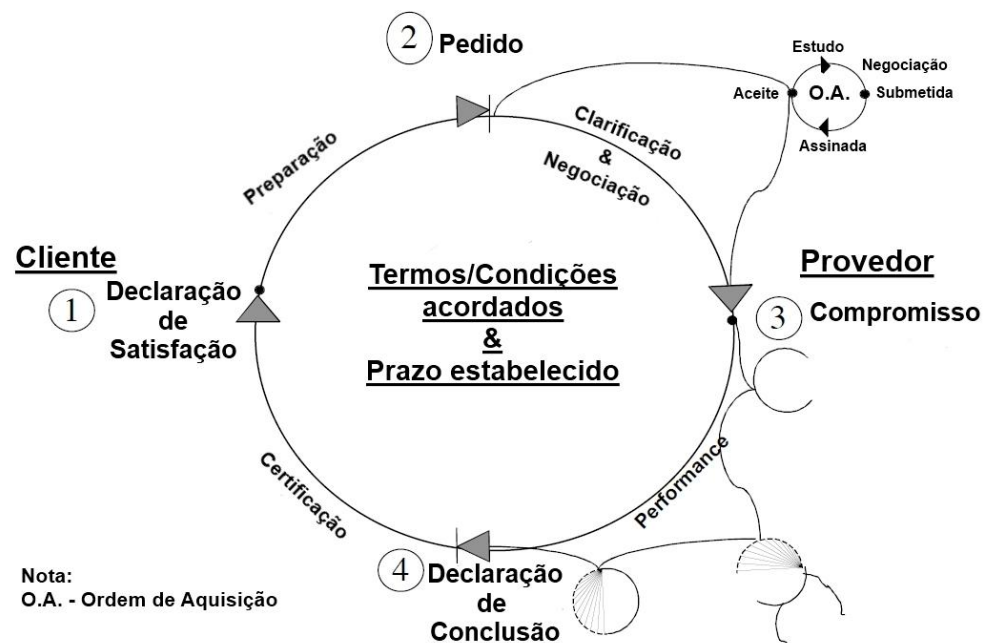


Figura 2.2 - Fluxo de compromissos (adaptado de Macomber e Howell, 2003)

É actualmente aceite que este acto de fazer promessas, particularmente a capacidade de fazer e obter promessas fiáveis, é a competência básica para se trabalhar no ambiente do LPS e a chave para se obter coordenação.

2.3. Controlo da produção na construção

As principais diferenças entre a LC e as formas tradicionais de gestão de projectos incluem o controlo, a optimização e o planeamento entre outras. A definição de controlo na gestão de projectos tradicional é a monitorização face ao planeamento e orçamento, enquanto a LC entende controlo como o obrigar as actividades a conciliarem com o plano. A Figura 2.3 ilustra a diferença ao nível operacional da gestão.

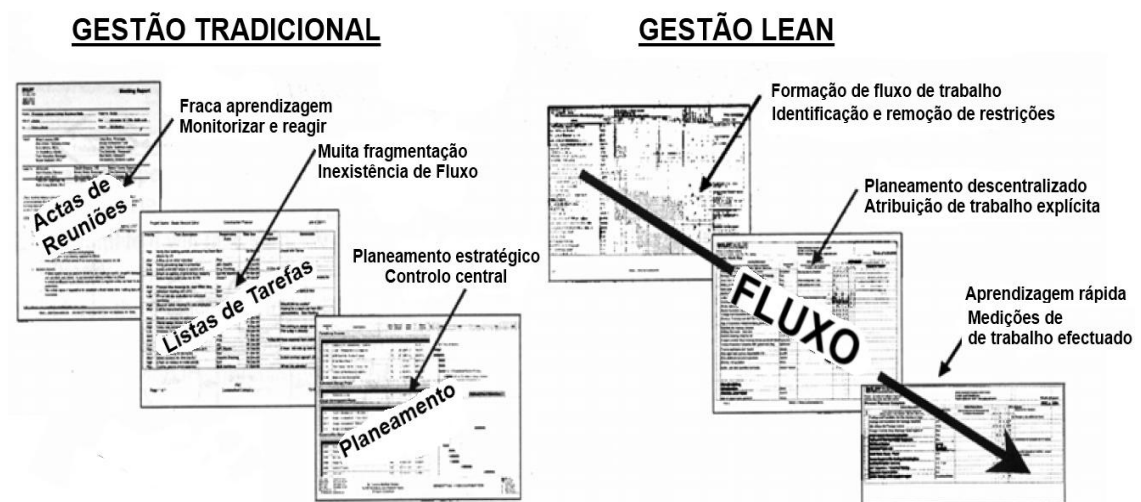


Figura 2.3- Gestão de projectos tradicional VS *Lean* (adaptado de Kim e Park, 2006)

No entanto, a diferença fundamental entre o tradicional e o *Lean* ocorre no planeamento. Na abordagem tradicional, o sistema é caracterizado por possuir um planeamento do tipo *push* (Figura 2.4), ao passo que no *Lean* encontra-se um planeamento do tipo *pull* (Figura 2.5) (Kim e Park, 2006).

Sistema de Planeamento Tradicional - Push

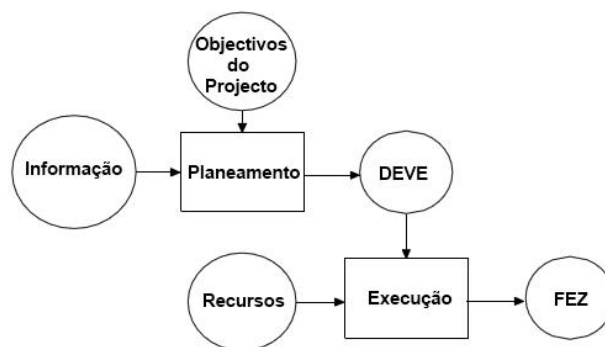


Figura 2.4 - Sistema de planeamento tradicional (adaptado de Ballard e Howell, 1994)

Os sistemas *push* libertam a informação para o sistema com base em datas pré-definidas no planeamento. Este tipo de sistemas, como o nome o indica, “empurram” os *inputs* para um processo com base nas datas definidas. O planeamento de empreendimentos de construção é, tradicionalmente, um mecanismo *push*, com o alvo de causar intersecções futuras de acções interdependentes (Ballard, 2000).

Last Planner System - Pull

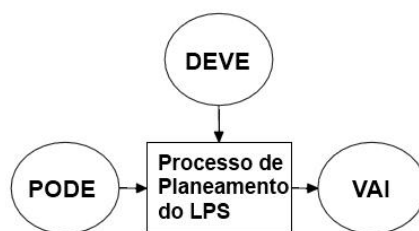


Figura 2.5- Processo de planeamento de atribuição de tarefas do LPS (adaptado de Ballard e Howell, 1994)

Os sistemas *pull* soltam a informação para o sistema com base no estado do próprio sistema, para além de se basearem também nas datas definidas (Hopp e Spearman, 2008).

2.3.1. Métodos de controlo tradicionais

O controlo da produção na construção tem sido desenvolvido com vista a manter os projectos dentro dos limites aceitáveis de custos e prazo de execução. Segundo Ballard (2000), citando Diekmann e Thrush (1986), o sistema de controlo de empreendimentos tradicional deve fornecer a informação necessária a que a equipa de projecto e os participantes no mesmo sejam capazes de identificar e corrigir áreas de actuação problemáticas e, em última instância, manter os custos e prazos do empreendimento “sob controlo”. O objectivo deste sistema é a detecção de variâncias negativas na produção para que se possam implementar medidas correctivas.

Nos métodos de controlo tradicionais, os alvos da monitorização são o tempo e os recursos. Os recursos (materiais, equipamentos, indirectos, homens-hora) são planeados e controlados através de sistemas de controlo de custos, cujo objectivo é a produtividade – o uso eficiente dos recursos. Associado a cada recurso existe um orçamento; o uso dos recursos é monitorizado face a esse orçamento e são feitas conjecturas periódicas da necessidade dos recursos, com base no estado actual do empreendimento (Ballard, 2000).

A *Work Breakdown Structure* (WBS) é um elemento chave nos métodos de controlo tradicionais. Segundo Diekmann e Thrush (1986), a WBS proporciona um enquadramento para um planeamento e orçamentação integrados e permite a monitorização e controlo por parte da gestão, estabelecendo a forma pela qual as estimativas são atribuídas e os custos são atribuídos e sumariados. Permite ainda o desenvolvimento de uma base de dados com base na qual os problemas podem ser identificados, previsões podem ser feitas e medidas correctivas ser desenvolvidas. O objectivo desta ferramenta é, portanto, dividir o trabalho em partes que possam ser monitorizadas e controladas. Não existe, no entanto, qualquer menção ao processo de produção em si.

Ballard *et al* (1996) sugerem que não é possível tomar decisões fiáveis relativamente à causa ou correcção de desvios com base apenas na produtividade e dados de progresso do projecto, sem entender o fluxo de trabalho.

2.3.2. Last Planner System

O LPS é uma ferramenta desenvolvida para o controlo da produção da construção com base nos princípios da LC. De acordo com Ballard e Howell (1994), a construção exige planeamento e controlo, executados por diferentes indivíduos, com cargos distintos na organização e em alturas diferentes do ciclo de vida de um empreendimento. O planeamento efectuado em níveis hierárquicos elevados na organização tende a focar-se nos objectivos globais e restrições que dirigem a empreitada. Esses objectivos conduzem os processos de planeamento a um nível hierárquico inferior, que especificam os meios para atingir as metas. Em última instância, alguém decide que trabalho (físico) específico vai ser feito no futuro próximo, ou seja, é feita uma adjudicação que conduz directamente a um trabalho que determinado indivíduo é responsável por fazer. As pessoas, ou equipa, que efectuam este planeamento diário são designadas por *Last Planners* (Ballard, 2000).

Assim, o LPS aborda as operações de planeamento e controlo, com o objectivo de certificar que todos os pré-requisitos condicionantes de uma actividade estão resolvidos quando a mesma se inicia – permitindo que o trabalho seja executado sem interrupções e concluído conforme o planeado (Grenho, 2009).

2.3.2.1 Processo de planeamento de tarefas do LPS

De acordo com o que se referiu quando se abordou o conceito de LAP, a base da estruturação do planeamento semanal do LPS é a conversação – especificamente os compromissos e as tarefas. O *Last Planner* diz o que Vai ser feito e, idealmente, essa promessa traduz-se no que Deve ser feito segundo o planeamento, com as restrições do que Pode ser feito. A Figura 2.6 exemplifica o planeamento de atribuição de trabalho no LPS como um todo.

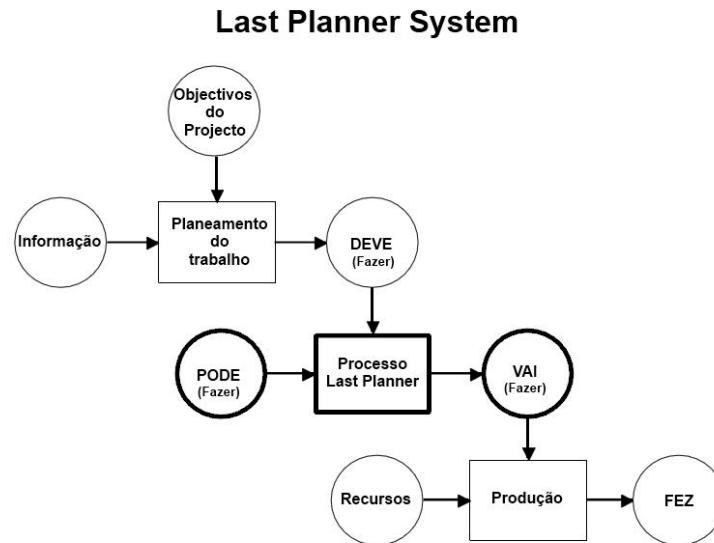


Figura 2.6 - Processo Last Planner (adaptado de Ballard, 2000)

Embora o planeamento efectuado pelo *Last Planner* tenha o seu foco ao nível da execução, tal não significa que se perca a visão geral na calendarização. Para este efeito, o LPS possui diferentes níveis de planeamento que visam o entendimento do projecto a diferentes níveis e detalhes. Estes diferentes níveis hierárquicos serão abordados em maior profundidade mais à frente neste capítulo.

2.3.2.2 *Percent Plan Complete*

O LPS compreende a gestão como um todo, focando-se no processo de produção em detrimento do foco individual nas actividades. A medição do desempenho proposta por este sistema funciona como um elemento de auxílio ao controlo do planeamento e pretende ser um indicador qualitativo da performance do sistema de produção para quem planeia as actividades que estão prontas a receber a ordem de execução.

O índice mais comumente utilizado na medição do trabalho efectivamente concluído é o *Percent Plan Complete* (PPC), que faz parte integrante do LPS. Este índice representa o número de actividades concluídas face ao total de actividades previstas no plano semanal (WWP, do inglês *Weekly Work Plan*), sob a forma de taxa percentual (Ballard, 1994), como indicado na equação (2.1).

$$PPC(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ Actividades Concluídas}}{N^{\circ} \text{ Actividades Previstas no WWP}} \times 100 \quad (2.1)$$

O PPC apresenta-se, portanto, também como uma medida da fiabilidade do fluxo de trabalho na unidade de produção (Ballard, 1999). O alvo ideal da unidade de produção é apresentar um valor de PPC de 100%, tendo em conta que valores inferiores a este correspondem a falhas no

processo de planeamento (e eventuais falhas no cumprimento de promessas). É importante notar que o PPC não traduz a eficiência com que as tarefas foram executadas e deve, portanto, ser complementado com uma crítica qualitativa e quantitativa relativamente ao desempenho e eficiência do trabalho, assim como da organização de recursos (Peneirol, 2007).

No decorrer da empreitada, o PPC é calculado numa base semanal e as tarefas a executar são replaneadas, com indicação das tarefas cuja conclusão não ocorreu conforme o programado no plano anterior e das tarefas que não chegaram a acontecer. Consegue-se assim entender o estado do projecto e as implicações que acarreta a nova calendarização das tarefas e é efectuada a análise das causas que conduziram a essas falhas no planeamento.

O replaneamento das tarefas, que pode verificar-se através de relações de precedência, organização dos pacotes de trabalho e mudanças ao nível dos recursos, permite que sejam resolvidos os constrangimentos e restrições afectos às tarefas e facilitada a logística inerente ao planeamento. Esta reprogramação permite a melhoria da produtividade da produção (Koskela e Howell, 2002; Peneirol, 2007). Verifica-se assim que o controlo da produção com recurso ao LPS passa também pela investigação das causas, sendo este o primeiro passo para a resolução e eliminação das fontes de interrupção do fluxo de trabalho.

2.3.2.3 Estruturação hierárquica dos níveis de planeamento do LPS

O planeamento de produção delineado segundo o LPS tem como objectivo o arranque de tarefas, de acordo com o indicado pelo planeamento de nível superior e também com as condicionantes das próprias tarefas. Neste sentido, o processo de planeamento global é formado com base numa hierarquia de níveis de planeamento que são tanto mais específicos quanto a calendarização temporal que englobam (Ballard, 2000).

O sistema de produção da construção com recurso ao LPS engloba, assim, diferentes níveis de planeamento, conforme se representa na Figura 2.7.



Figura 2.7- Estruturação hierárquica do planeamento no LPS (Osório, 2010)

O Plano Mestre (*Master Schedule*) corresponde ao planeamento do projecto ao nível mais elevado da hierarquia de planeamento – é uma calendarização total do projecto. Este plano é desenvolvido com base em critérios providos na etapa de desenho que vão de encontro aos objectivos do cliente. O grau de detalhe neste nível de planeamento não é muito alto, o maior cuidado é dirigido à definição das metas a atingir (*milestones*) no decorrer da empreitada, cujas datas são definidas através do *pulling* a partir das metas precedentes, começando pelo prazo de projecto e retrocedendo sequencialmente até ao início.

O plano mestre define a estrutura de trabalho e visa demonstrar a exequibilidade do trabalho no tempo determinado, definindo também quando itens de fornecimento a longo prazo vão ser necessários. Dado o relativamente baixo grau de detalhe deste nível de planeamento, o plano mestre não pretende demonstrar o formato de execução do trabalho nem o fluxo do mesmo, mas sim a identificação de actividades e das simples relações sequenciais (Peneirol, 2007).

Os Planos de Fase (*Phase Schedules*) são elaborados pela equipa que gere o trabalho da respectiva fase. O propósito da calendarização de fases é desenvolver um plano para a execução de uma fase de trabalho que maximize a geração de valor e a partir do qual as tarefas planeadas possam ser conduzidas para o plano de antevisão, para mais tarde serem detalhadas a um nível operacional e prontas para dar entrada nos planos semanais. Este nível de planeamento é utilizado

para desenvolver um plano de operações mais detalhado que especifica as transladações de trabalho entre os especialistas envolvidos nessa fase. Estas entregas de trabalho transformam-se em metas a ser atingidas através do controlo da produção do LPS (Ballard e Howell, 2003).

Na sequência hierárquica dos níveis de planeamento do LPS segue-se o Plano de Antevisão (*Lookahead Schedule*). Este plano sequencia o fluxo de trabalho da melhor maneira possível, fazendo corresponder a mão-de-obra e restantes recursos ao fluxo de trabalho. Outro dos objectivos do plano de antevisão é a calendarização de um grupo de actividades adjudicadas e livres de constrangimentos (*Constraints*) em espera para cada encarregado e respectiva equipa de trabalho. O relatório que evidencia as actividades que estão prontas a serem executadas mas que não figuram na calendarização da semana em análise pode ser designado *Workable Backlog* ou, simplesmente, *Backlog* (Alarcón e Calderón, 2003; Peneirol, 2007). A Figura 2.8 ilustra um plano de antevisão de 4 semanas.

Projecto: Piloto		Antevisão de 4 Semanas																			
Actividade	05/03/2012					12/03/2012					19/03/2012					26/03/2012					Pré-requisitos
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	
Equipa A																					
Tarefa A1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							Necessário instalação de válvulas
Tarefa A2												X	X	X							Materiais em estaleiro
Equipa B																					
Tarefa B1			X	X	X																Materiais em estaleiro
Tarefa B2	X	X																			Entrega de materiais agendada para xx-xx-xx
Tarefa B3						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				Materiais em estaleiro
Equipa C																					
Tarefa C1	X	X	X																		Entrega de materiais agendada para xx-xx-xx
Tarefa C2						X	X	X	X	X	X	X	X	X							Entrega de materiais agendada para xx-xx-xx
Tarefa C3	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X						Necessário cobrir o pavimento
Equipa D																					
Tarefa D1	X	X	X	X	X																Entrega de materiais agendada para xx-xx-xx
Tarefa D2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							Secção Y precisa de estar livre
Tarefa D3						X	X	X	X	X	X	X	X	X							Entrega de materiais agendada para xx-xx-xx
Tarefa D4						X	X	X	X	X	X	X	X	X							Materiais em estaleiro

Figura 2.8 - Plano de antevisão de 4 Semanas (adaptado de Ballard, 1997)

O plano de antevisão visa cinco objectivos:

- Moldar e sequenciar o fluxo de trabalho da melhor forma possível;
- Ligar a mão-de-obra e restantes recursos ao fluxo de trabalho;
- Compor e manter um registo das tarefas para cada encarregado de frente de trabalho e respectiva equipa, com alusão aos materiais necessários e pré-requisitos a serem concluídos;
- Agrupar tarefas com elevado grau de interdependência, de modo a que o método de trabalho possa ser planeado para toda a operação;
- Identificar operações a serem planeadas em conjunto por equipas multidisciplinares.

Na Figura 2.9 exemplifica-se o procedimento do planeamento de antevisão:

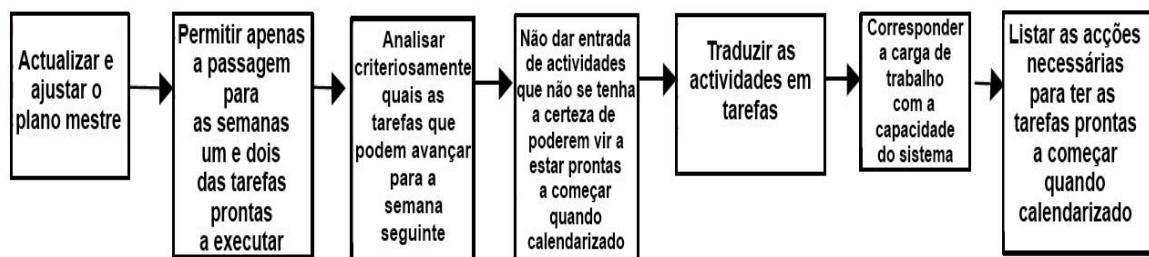


Figura 2.9 - Procedimento do planeamento de antevisão (adaptado de Ballard, 1997)

Tenta-se assim com este plano garantir que o trabalho prossegue de modo a que cada tarefa seja iniciada na data planeada (Ballard, 1997; Ballard, 2000; Kim e Park, 2006).

O Plano Semanal de Trabalhos (*Weekly Work Plan*) corresponde a um planeamento da responsabilidade dos *Last Planners*. Como o nome indica, consiste na lista de trabalhos a ser desenvolvidos no período de uma semana. Neste planeamento constam as tarefas aprovadas para execução no plano de antevisão, estando assim garantida a sua exequibilidade e optimizada a dimensão das equipas de trabalho, bem como estabelecida individualmente a carga horária.

O LPS apresenta-se, assim, como um sistema de controlo da produção na construção cuja estrutura hierárquica permite a redução da variabilidade inerente aos projectos desta indústria.

2.4. Variabilidade

A variabilidade existe em todos os sistemas de produção e pode ter um impacto considerável no desempenho. Por esta razão, a capacidade de medir, entender e gerir a variabilidade é um factor crítico para uma gestão eficiente (Hopp e Spearman, 2008).

2.4.1. Variabilidade na construção

A forma como as decisões de planeamento lidam com a gestão da variabilidade nos projectos de construção é uma das questões mais relevantes e que requer mais atenção (Laufer *et al.*, 1994). Na construção, a variabilidade afecta as taxas de produção, a produtividade do trabalho, o controlo do planeamento e dos custos de maneira normalmente nociva (Tommelein *et al.*, 1999; Alarcón e Ashley, 1999; González *et al.*, 2010). É também relativamente imediato que quanto maior for a incidência da variabilidade (ou causas da mesma) num projecto, menor será o PPC médio obtido (Shen e Chua, 2005).

2.4.2. Causas de variabilidade

As causas da variabilidade são diversas e praticamente impossíveis de eliminar totalmente, facto reconhecido pela comunidade da LC que tem tentado através de diversas ferramentas e metodologias mitigar este fenómeno (Tommelein *et al.*, 1999; Thomas *et al.*, 2002; Robinette e Williams, 2006). Estas causas podem estar relacionadas com a incerteza associada às cadeias de abastecimento dos fornecedores, alterações de projecto, bem como com a variabilidade intrínseca ao dia-a-dia num estaleiro de construção (Santos e Powell, 1999). Na Figura 2.10 apresentam-se algumas das variáveis que se consideram controláveis e incontroláveis e como afectam os *inputs* e *outputs* do processo construtivo.

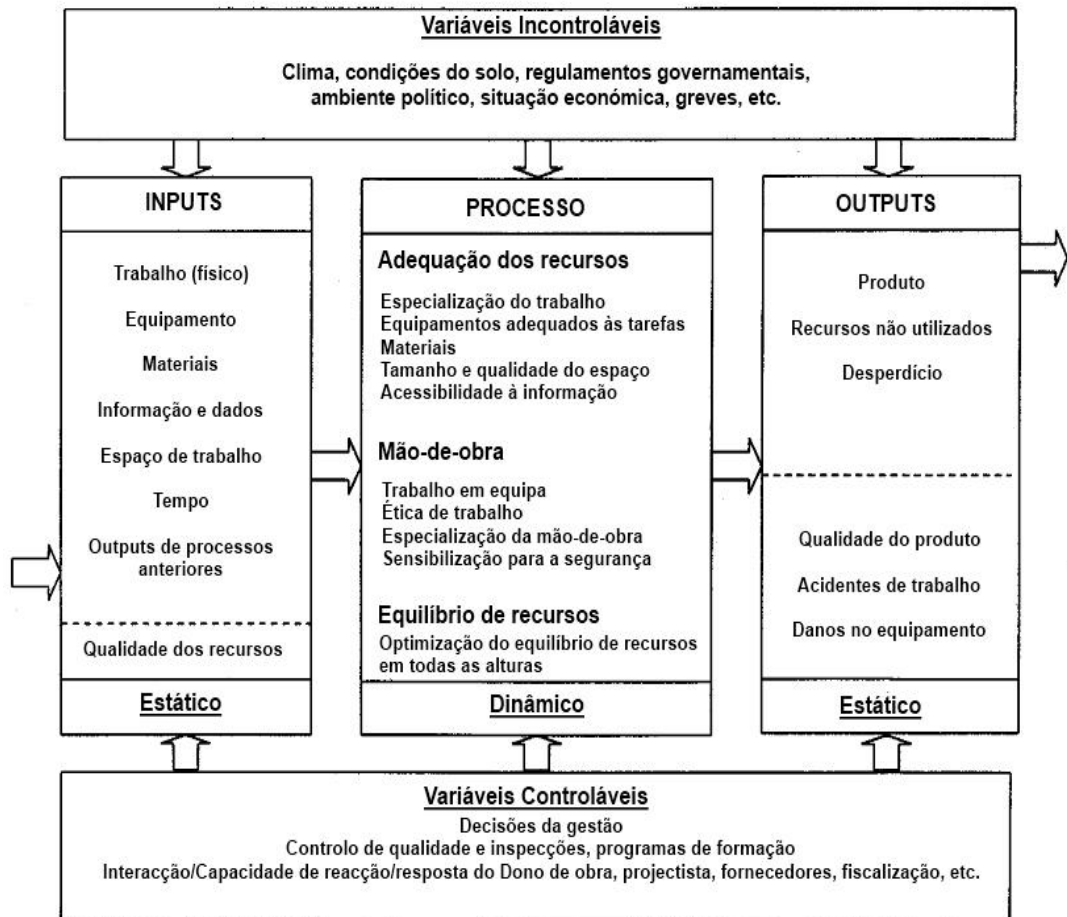


Figura 2.10 - Integração das variáveis no processo construtivo (adaptado de Zhang, 2005)

2.4.3. Mitigação da variabilidade com recurso ao LPS

O LPS foi desenvolvido para proteger as operações de um nível inferior da variabilidade existente nos níveis superiores mas, mesmo nos casos em que o LPS foi implementado de forma correcta, não se atingiram níveis de PPC de 100% (Bortolazza *et al.*, 2005). As técnicas empregues nesta ferramenta vão do plano mestre, passando pelos planos de antevisão, aos planos semanais, mas não se estendem à assistência em tempo real e, portanto, não são capazes de reagir a condições imprevistas que surjam no dia-a-dia (Brodetskaia e Sacks, 2007).

Dada a hierarquia da construção, como representado na Figura 2.11, é de prever que a eventual mitigação da variabilidade se foque principalmente ao nível das especialidades ou actividades, já que o nível inferior das equipas ou indivíduos será afectado por alterações nos níveis hierarquicamente superiores (Thomas *et al.*, 2002).

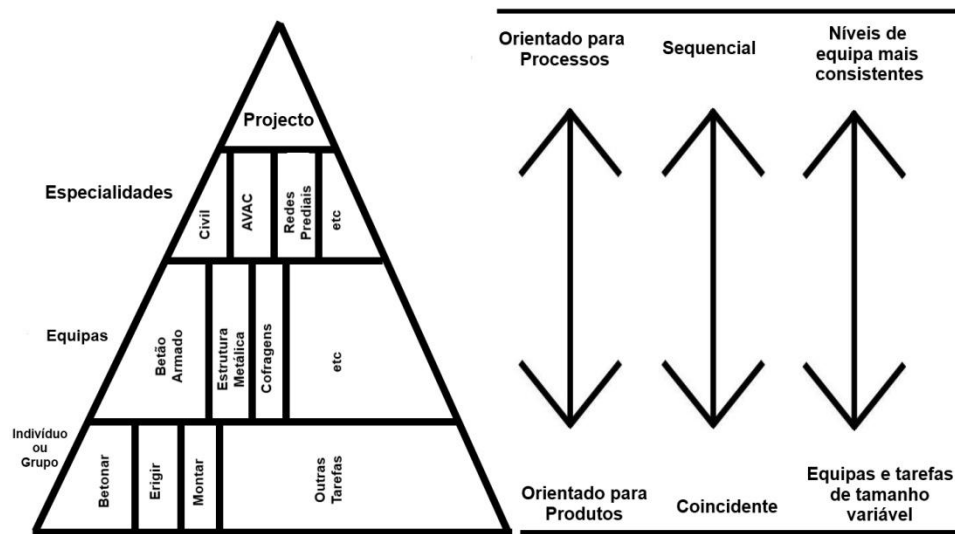


Figura 2.11 - Hierarquia da Construção (adaptado de Thomas *et al.*, 2002)

Dado o carácter cumulativo da variabilidade na hierarquia da construção, é expectável que exista uma amplificação deste fenómeno de nível para nível (Yu *et al.*, 2007).

2.5. Bullwhip Effect

O *Bullwhip Effect* (BWE) é um fenómeno que ocorre quando a variabilidade na procura se amplifica ao longo da cadeia de abastecimento (Leet *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2004; Wilck, 2006). Este efeito foi inicialmente apresentado por Forrester (1958), embora não com esta designação (Dejonckheere *et al.*, 2004). O BWE pode traduzir-se como sendo o fenómeno de amplificação da variabilidade da oferta dos escalões mais baixos da cadeia de abastecimento – retalho - para os escalões superiores - produtores (Metters, 1997; Cachon *et al.*, 2007). Por outras palavras, entende-se como o resultado de uma expectativa de oferta que não se realiza, por diversos motivos, e que se propaga por todos os escalões da cadeia de abastecimento, influenciando os níveis de *stock*, os tamanhos dos pedidos e a produtividade. A Figura 2.12 exemplifica graficamente o BWE numa cadeia de abastecimento de materiais de construção.

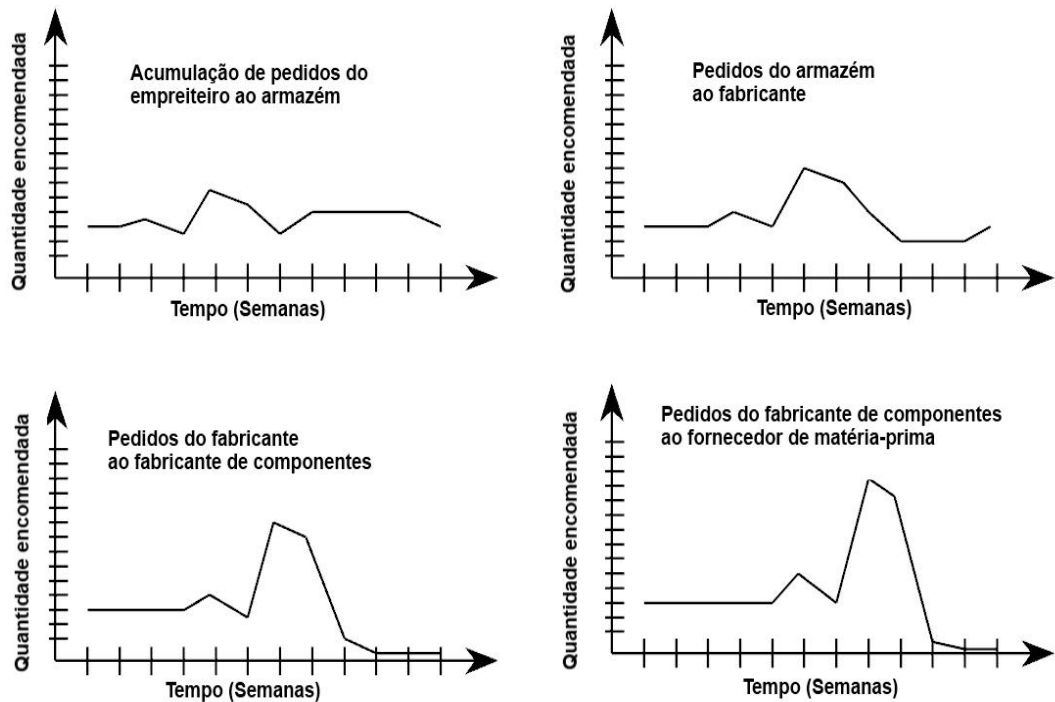


Figura 2.12 - BWE numa cadeia de abastecimento de construção (adaptado de Taylor e Bjornsson, 1999)

2.5.1. Instabilidade nas cadeias de abastecimento

A instabilidade nas cadeias de abastecimento é uma característica difundida e duradoura das economias de mercado. A produção, inventários, receitas, lucros e vários outros indicadores variam, irregular mas persistentemente, em variadas indústrias. A instabilidade afecta negativamente empresas, consumidores e a própria economia, através do excesso de inventários e investimento de capital desnecessário (Sternman, 2006).

2.5.2. Causas do BWE

As cadeias de abastecimento não são estáveis por natureza. A variação na procura aumenta com a distância ao consumidor, podendo-se verificar grandes oscilações consoante cada interveniente na cadeia procura resolver o problema do seu ponto de vista, o que resulta num aumento de custos e redução do nível de serviço (Geary *et al.*, 2006).

O BWE é inerente ao sistema de abastecimento. Se a procura no consumidor cai, o fornecedor tende a esvaziar o *stock* para evitar custos de *stock* parado. Se a procura sobe, o fornecedor compra em excesso para evitar atrasos em pedidos futuros. As mudanças nas previsões levam as empresas a criar *stocks* de segurança. Com a criação de um *stock* de segurança por parte de um cliente, a empresa que o fornece passa a admitir esse *stock* como a sua previsão do nível de procura (Lee *et al.*, 1997; Wilck, 2006). Esta amplificação da variabilidade na cadeia de abastecimento é exemplificada na Figura 2.13.

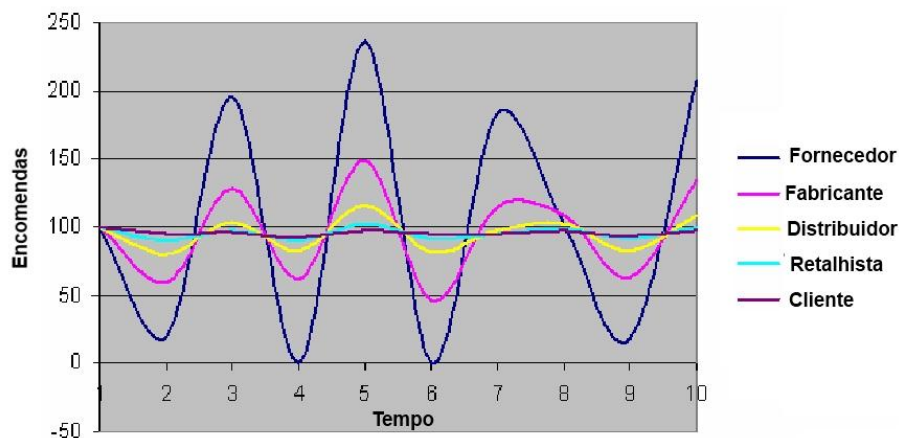


Figura 2.13 - Amplificação da variabilidade na cadeia de abastecimento (adaptado de Coelho *et al.*, 2009)

As variações de preços (como por exemplo saldos e promoções) causam mudanças bruscas na procura, amplificando o efeito. Outro aspecto nocivo é o fraco planeamento da procura. Quando falta material/matéria-prima, a tendência é encomendar em excesso e, quando a procura cai, cancelam-se pedidos (Lee *et al.*, 1997)

2.5.3. Analogia Cadeia de Abastecimento/LPS

Embora o estudo das cadeias de abastecimento não seja o âmbito desta dissertação, não deixa de ser interessante notar que a relação entre os diferentes escalões numa cadeia de abastecimento é semelhante à relação entre os diferentes níveis de planeamento do LPS. Como foi referido, os níveis de planeamento do LPS possuem uma relação hierárquica entre eles, encontrando-se o plano mestre no nível superior e o plano semanal no inferior. Analogamente, também nas cadeias de abastecimento se encontra o fabricante (ou o fornecedor de matéria-prima, consoante as indústrias) no escalão mais elevado, e o cliente no escalão mais baixo, como representado na Figura 2.14

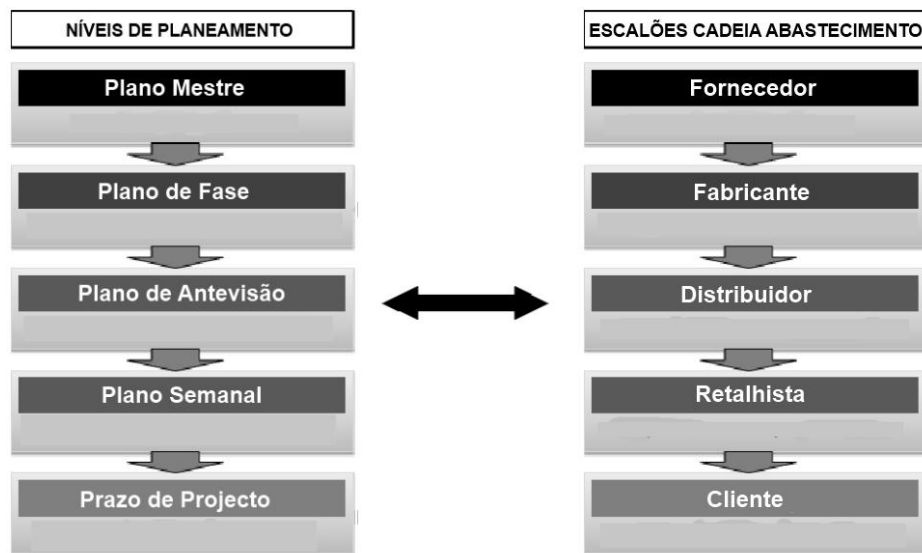


Figura 2.14- Analogia BWE/LPS (adaptado de Osório, 2010)

No capítulo 3 apresenta-se uma metodologia de quantificação do BWE nas variáveis do LPS, bem como uma proposta de metodologia para obtenção de uma base de comparação entre os métodos de controlo tradicionais e o LPS.

3. METODOLOGIA

O método científico seguido tem como objectivo a formulação de resposta às hipóteses de estudo definidas no início do trabalho. A estratégia de desenvolvimento da metodologia segue uma abordagem sistémica fundamentada na análise de casos de estudo.

De acordo com a estrutura da metodologia proposta na Figura 3.1, foi pesquisado e analisado um método de quantificação e detecção do BWE e formulado outro que permitisse obter uma base de comparação entre os métodos de controlo da produção tradicionais e o LPS.

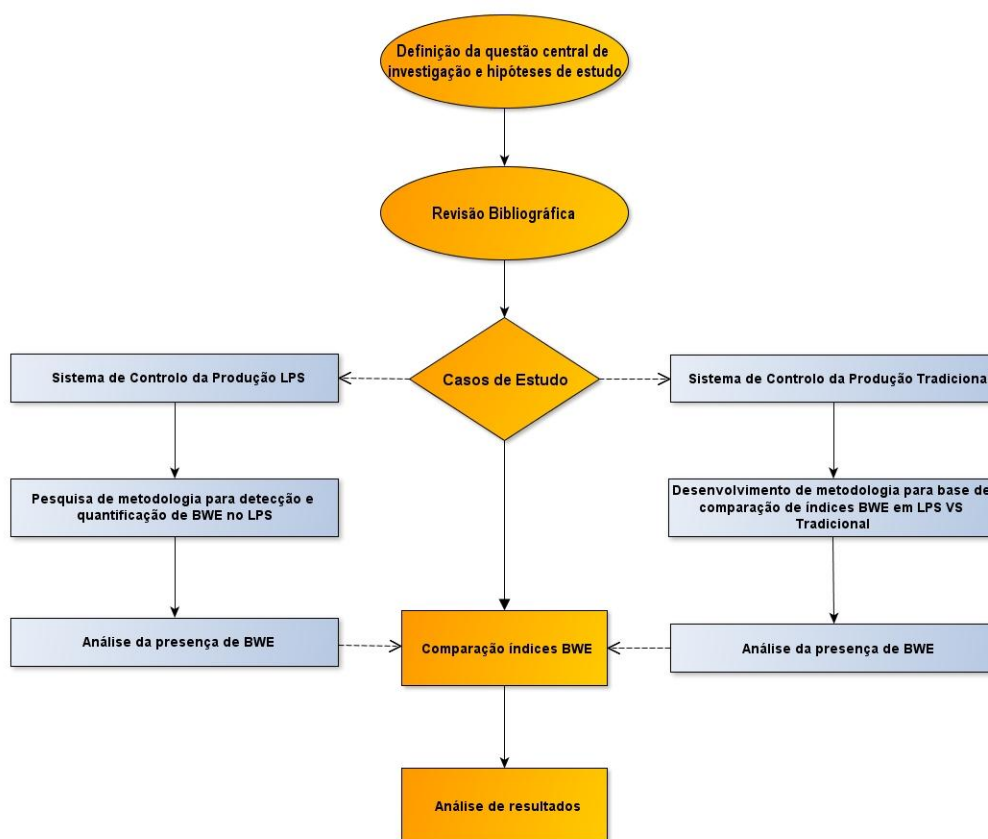


Figura 3.1- Metodologia de desenvolvimento do estudo

Tanto o método pesquisado como o formulado serão descritos em detalhe nas secções 3.3 e 3.4 deste capítulo.

3.1. Selecção e caracterização dos casos de estudo

Sabia-se *a priori* que era necessária a obtenção de um caso de estudo relativo a uma empreitada com controlo de produção com recurso ao LPS e a uma outra com controlo da produção tradicional.

O caso de estudo relativo à empreitada com recurso ao LPS (Caso de Estudo A) foi cedido pela equipa do professor Alarcón, incluindo todos os dados e ficheiros necessários à análise de detecção e quantificação do BWE. Desta forma, as informações relativas ao cliente e à empresa contratada do Caso de Estudo A – referente ao controlo da produção com recurso ao LPS - encontram-se protegidas por um acordo de confidencialidade.

No caso do sistema de controlo da produção tradicional (Caso de Estudo B), a selecção do caso de estudo incidiu essencialmente sobre empreitadas de empresas que se caracterizassem por efectuar um controlo de produção em obra rigoroso, idealmente utilizando princípios *Lean*. Foi solicitado às empresas contactadas autorização para aceder a ficheiros confidenciais que permitissem o desenvolvimento de uma metodologia para obtenção de uma base de comparação entre esse sistema de controlo e o LPS. Para tal, o caso de estudo seleccionado teria de respeitar os seguintes parâmetros:

- Sistema de controlo com realização de reuniões semanais de seguimento dos trabalhos;
- Actas das reuniões actualizadas semanalmente;
- Ficheiros de planeamento e plano base actualizados no mínimo mensalmente;
- Autos de produção mensais;
- Disponibilização dos dados referentes a um período mínimo de quatro meses.

Estes parâmetros foram desenvolvidos com vista à possibilidade de fazer a comparação entre o controlo tradicional e o LPS. Os dados teriam de ser referentes ao período mínimo de quatro meses de modo a ser possível a detecção do BWE. Considerou-se que um período de análise inferior seria propício a erros devido à volatilidade da variabilidade numa obra. Pretende-se a detecção da variabilidade num período temporal suficientemente extenso de modo a que não se abranjam apenas picos nos valores da mesma.

No período de 5 de Março de 2012 a 19 de Abril de 2012 foram contactadas diversas empresas com vista à obtenção do caso de estudo. Dado o não preenchimento dos parâmetros pré-definidos, foram sendo descartadas empresas até se encontrar uma cujo sistema de controlo da produção se enquadrasse no modelo requerido.

A empreitada escolhida será caracterizada em maior detalhe no capítulo 4, não sendo no entanto possível identificar pelo nome o cliente nem determinados aspectos técnicos da empreitada, devido à confidencialidade exigida pela empresa seleccionada.

3.2. Metodologia de recolha de dados

A recolha de dados e informação referente aos ficheiros de planeamento, autos e actas para o Caso de Estudo B foi realizada através de interacção directa com o responsável pelo con-

trola da produção. Todos os dados foram disponibilizados em suporte digital e as informações necessárias no decorrer da análise advieram de reuniões presenciais com esse responsável.

3.2.1. Ficheiros de planeamento

Os ficheiros de planeamento e plano base, bem como actualizações dos mesmos, foram fornecidos em ficheiros *Microsoft® Project*. Para facilitar a identificação das actividades em curso em determinada semana, foram aplicados filtros temporais ao ficheiro em questão.

3.2.2. Autos de produção mensais

Os autos de produção mensais foram disponibilizados em ficheiros *CCS Candy*. Foram também fornecidas as análises de desempenho de produção da empreitada analisada, bem como os índices CPI e SPI e gráficos EVM, para confirmação da tendência dos resultados analisados. No entanto, e em última instância, a confirmação dos resultados foi obtida por diálogo directo com o responsável do controlo da produção.

3.2.3. Actas das reuniões semanais

As actas das reuniões semanais de seguimento dos trabalhos foram disponibilizadas em ficheiros *Microsoft® Word*. Estas actas serviram essencialmente para a recolha de dados relativos ao nível de plano de antevisão, bem como a identificação de restrições. Foram ainda importantes para confirmar os resultados obtidos relativamente aos avanços do planeamento e introdução de trabalhos adicionais não previstos inicialmente.

3.3. Metodologia de detecção e quantificação do BWE

A metodologia utilizada na detecção e quantificação do BWE baseia-se no trabalho de Cachon *et al.* (2007) e foi adaptada por Alarcón e Zegarra (2012).

Segundo Alarcón e Zegarra (2012), o BWE aplicado ao LPS traduz-se na distorção cumulativa da quantidade de conversações no processo do LPS e tem impacto na fiabilidade do planeamento. Esta distorção é causada pela propagação e acumulação da variabilidade das conversações.

3.3.1. Fundamentação teórica

Os mecanismos causadores de instabilidade no LPS podem ser entendidos como um problema de gestão de *stocks*, influenciados pelo elemento humano (Stermann, 2006) (Alarcón e Zegarra, 2012). Para efeitos deste estudo, as variáveis do LPS são percebidas como uma sequência de *stocks* que correspondem a dados do processo LPS. Este modelo causal é exemplificado na Figura 3.2.

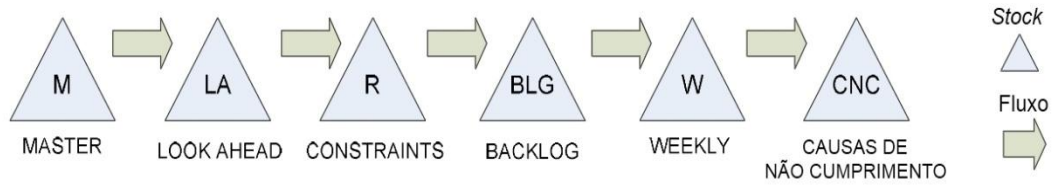


Figura 3.2 - Modelo Causal do LPS (Alarcón e Zegarra, 2012)

As variáveis do LPS são, deste modo, os planos *Master*, *Look Ahead*, e *Weekly*, bem como os relatórios *Constraints*, *Backlog* e *Causas de Não Cumprimento*.

Cachon *et al.* (2007) identificam a presença de BWE numa cadeia de abastecimento segundo dois critérios:

- Razão de amplificação superior à unidade, ou seja, se a variância da produção for superior à variância da procura. Neste sentido entende-se procura como sendo a quantidade de um bem ou serviço que o consumidor está disposto a adquirir por determinado preço;
- Diferença de amplificação positiva.

Estes critérios encontram-se explicitados na equação (3.1)

$$Presença de BWE se : \begin{cases} Razão de amplificação = \frac{V(Produção)}{V(Procura)} > 1 \\ ou \\ Diferença de amplificação = V(Produção) - V(Procura) > 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Um rácio de amplificação superior à unidade ou uma diferença de amplificação positiva significa que a variância de produção de uma indústria é maior que a variância da procura. Nesse caso, verifica-se a presença de BWE. Uma razão de amplificação inferior à unidade ou diferença de amplificação negativa indicam um balanceamento da produção.

Numa cadeia de abastecimento constituída por cliente, retalhista, distribuidor, fabricante e fornecedor, o *output* do primeiro escalão da cadeia – cliente – torna-se o *input* do escalão seguinte - retalhista – e por aí adiante. No LPS, o *output* do *Master* torna-se o *input* do *Look Ahead*, seguindo esta sequência de forma análoga para as restantes variáveis do sistema. Assim, os critérios de presença de BWE podem ser descritos de forma genérica com base em *inputs* e *outputs*, como sugerido na equação (3.2).

$$Presença de BWE se : \begin{cases} Razão de amplificação = \frac{V(Output)}{V(Input)} > 1 \\ ou \\ Diferença de amplificação = V(Output) - V(Input) > 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

3.3.2. Implementação

Alarcón e Zegarra (2012) sugerem que os dados a utilizar para *input/output* de cada uma das variáveis do LPS são, conceptualmente, o número de conversas em cada nível de planeamento. Idealmente, cada tópico – ou conversa – discutido deverá traduzir-se num registo operacional. Desta forma, podem admitir-se como número de conversas numa variável (i.e. *Lookahead*), para determinada semana, o número de actividades consideradas nesse plano para essa semana.

Quadro 3.1 - Variáveis e dados de análise de BWE no LPS

Variável	Descrição	
	Conceptual	Operacional
M; LA; R; BLG; W; CNC	# de Conversas ao nível considerado	# de dados na Base de Dados da variável considerada

Depois de construídas as bases de dados para cada variável, torna-se necessário quantificar o número de dados – correspondente ao número de conversas – em cada semana para cada variável e a construção das séries temporais originais. A este processo segue-se o cálculo da média móvel para três registos consecutivos de dados, transformação logarítmica dessa média móvel e diferenciação entre valores consecutivos. Este procedimento é efectuado de forma a filtrar os dados de quaisquer tendências que possam existir na série temporal original, apresentando antes a variação da distorção ao longo do tempo. A Figura 3.3 ilustra uma série temporal original face a uma série alterada com o procedimento de filtragem descrito. Dado que se efectua a logaritmação antes de diferenciar os dados, a série ajustada refere-se aproximadamente à percentagem de mudança entre cada registo (Cachon *et al.*, 2007) (Alarcón e Zegarra, 2012).

Posteriormente são calculadas as variâncias para cada variável, já com ajustamento da série temporal, e aplicados os critérios de presença de BWE.

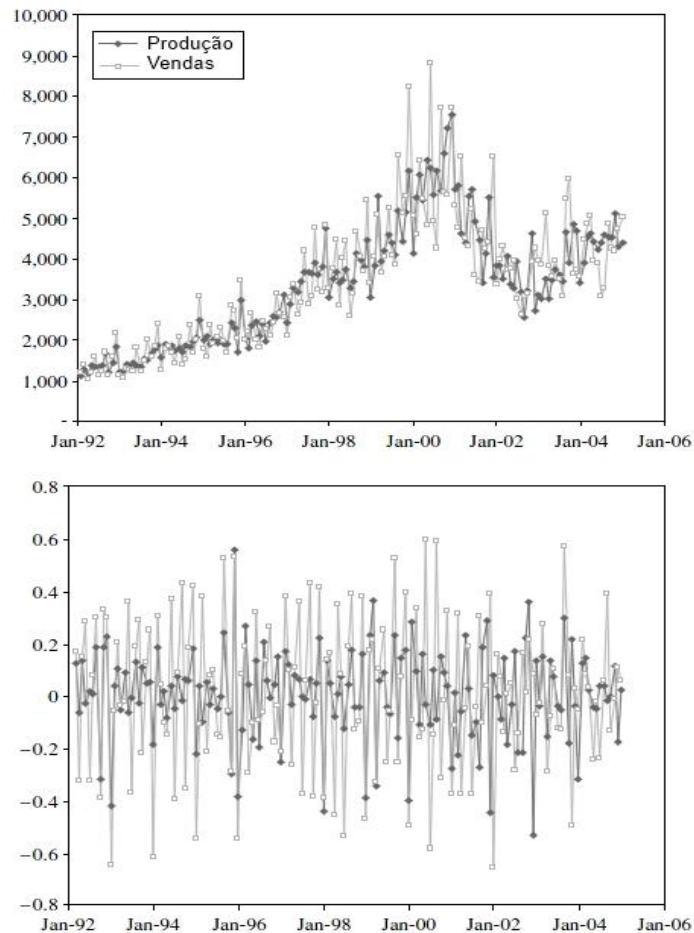


Figura 3.3 - Filtragem de dados (Cachon *et al.*, 2007)

São ainda calculados a média e desvio padrão para o PPC da série original e para o PPC da tendência – calculado com base nos mesmos critérios da média móvel.

3.4. Elaboração da base de comparação entre métodos de controlo

De modo a possibilitar a comparação de resultados entre os casos de estudo A e B, foi necessário desenvolver uma base de comparação entre o LPS e o método de controlo da produção do Caso de Estudo B. Dado que o LPS utiliza diferentes níveis de planeamento, tentou encontrar-se uma forma de corresponder os dados fornecidos no Caso de Estudo B a variáveis sobre as quais se pudesse efectuar a análise. Para este efeito utilizaram-se os ficheiros de planeamento e actualizações de plano base e as actas de reuniões semanais.

3.4.1. Master Schedule

Para a elaboração da base de dados relativa à variável M, utilizou-se o ficheiro de planeamento original. Esse ficheiro foi filtrado numa base semanal e, para cada semana, contaram-se as actividades que se planeava concluir nessa semana.

3.4.2. *Lookahead Schedule*

A base de dados LA foi formada com base nas actas das reuniões semanais. Esses documentos foram analisados e posteriormente contabilizaram-se os tópicos referentes a promessas de conclusão de actividades num espaço temporal superior a três semanas após a data da reunião.

3.4.3. *Weekly Schedule*

Na preparação da base de dados W, utilizaram-se os ficheiros de planeamento actualizados semanalmente. Para a semana (e actualização de ficheiro) em questão, contabilizaram-se as actividades a concluir nesse espaço temporal.

3.4.4. *Constraints*

A base de dados de R seguiu um procedimento semelhante ao da variável LA, com a *nuance* de se contabilizarem as restrições que afectassem o desenvolvimento das actividades.

3.4.5. *Causas de Não Cumprimento*

Dado que o objectivo da formulação do relatório de Causas de Não Cumprimento é a identificação e detecção de problemas, e tendo em conta que este relatório é gerado após o *Weekly Schedule*, a base de dados CNC foi elaborada com base no número de tarefas que ficaram por concretizar segundo o plano semanal e o PPC. Deste modo, para cada semana, o número de itens CNC contabilizados foi calculado de acordo com a equação (3.3).

$$N^{\circ}itens\ CNC_{Semana\ X} = N^{\circ}itens\ W_{Semana\ X} \times (1 - PPC_{Semana\ X}) \quad (3.3)$$

3.4.6. *PPC*

O PPC foi calculado com base na sua definição, *i.e.* número de actividades concluídas sobre o número de actividades na semana, multiplicado por 100 e apresentado sob a forma de percentagem, de acordo com a equação (2.1).

Na prática, a metodologia desenvolvida para cálculo do PPC baseou-se nas actualizações do planeamento da seguinte forma:

- Numa actualização N do planeamento contabilizaram-se as actividades com conclusão prevista para a semana X , referente à semana seguinte a essa actualização, registadas no plano base mais actualizado;
- Na actualização $N+1$ contabilizaram-se as actividades efectivamente concluídas na semana X .

O PPC é, assim, calculado com base na equação (3.4).

$$PPC\ Semana\ X = \frac{N^{\circ}Actividades\ Concluídas\ na\ Semana\ X\ na\ actualização\ N+1}{N^{\circ}Actividades\ Com\ Conclusão\ Prevista\ na\ Semana\ X\ na\ actualização\ N} \times 100 \quad (3.4)$$

3.4.7. Síntese de método proposto para base de comparação

O desenvolvimento deste método foi possível dado o elevado grau de controlo de produção executado pela empresa que forneceu o Caso de Estudo B. De forma a implementar este método é necessário que sejam fornecidos os ficheiros de planeamento original e que se façam actualizações semanais ao plano base com informação real relativamente ao andamento dos trabalhos. É também imperativo que sejam registadas semanalmente todas as restrições ao bom andamento dos trabalhos e causas de não cumprimento do plano, bem como todas as datas acordadas para conclusão de quaisquer actividades. A Figura 3.4 ilustra de forma sintética a metodologia seguida para obtenção da base de comparação.

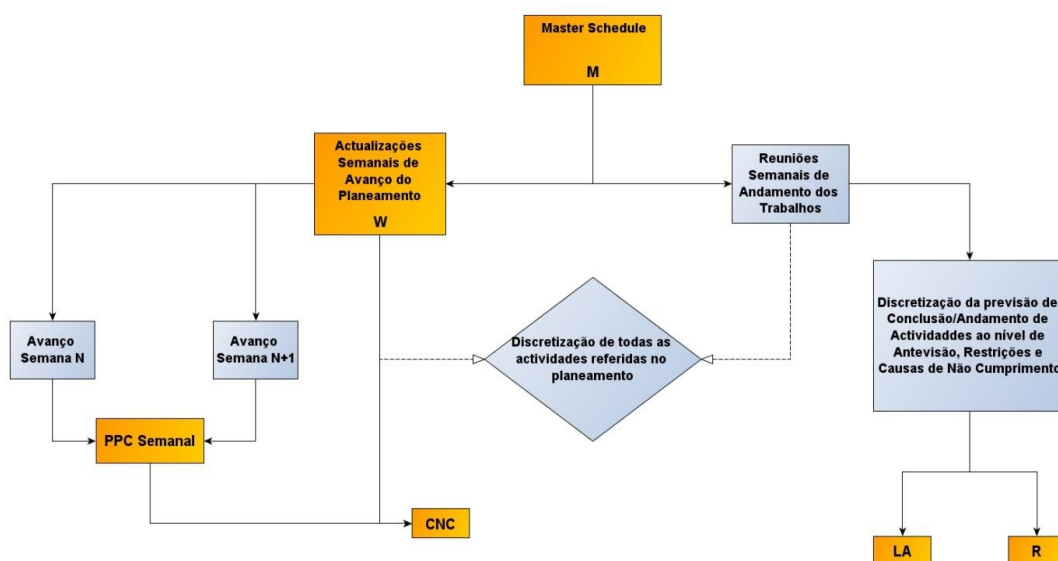


Figura 3.4 - Obtenção de base de comparação entre métodos de controlo

3.5. Casos de Estudo

As metodologias referidas nos pontos anteriores foram implementadas nos dois casos de estudo. Foi ainda necessário investigar um método de controlo dos resultados.

3.5.1. Caso de Estudo A

No Caso de Estudo A, referente ao sistema de controlo da produção com recurso ao LPS, a metodologia utilizada para a detecção e quantificação do BWE seguiu exactamente a usada por Alarcón e Zegarra (2012).

3.5.2. Caso de Estudo B

Para o sistema de controlo da produção tradicional, a metodologia de análise do BWE é semelhante à do Caso de Estudo A. No entanto, para a utilização da metodologia, foi necessário obter a base de comparação entre métodos de controlo.

3.5.3. Controlo dos resultados

Por forma a verificar a adequabilidade da análise e posterior comparação dos resultados entre os casos de estudo, efectua-se um controlo dos processos.

Os resultados são controlados recorrendo a gráficos de Shewart. A metodologia de desenvolvimento dos gráficos de controlo foi retirada do *Engineering Statistics Handbook*, do *NIST/SEMATECH* (Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 2003).

Os gráficos de Shewart utilizam limites de controlo para verificar se os processos analisados se encontram num estado de controlo estatístico, i.e. se um processo produz *output* de forma consistente. Os limites de controlo são calculados com base no desvio padrão (σ) dos dados em análise e designam-se Limite de Controlo Superior (UCL, do inglês *Upper Control Limit*) e Limite de Controlo Inferior (LCL, do inglês *Lower Control Limit*). A linha que se encontra entre os limites de controlo denomina-se Linha Central (CL) e corresponde à média do processo em questão. Os limites de controlo UCL e LCL são calculados de acordo com as equações (3.5) e (3.6), respectivamente (Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 2003). Nestas equações, \bar{X} representa a média do processo e k é a distância dos limites de controlo à linha central. σ refere-se ao desvio padrão dos itens existentes no processo.

$$UCL = \bar{X} + k\sigma \quad (3.5)$$

$$LCL = \bar{X} - k\sigma \quad (3.6)$$

A utilização de um k com valor 3 é normalmente aceite pela indústria como a norma (Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 2003). Neste caso, que será o utilizado, os gráficos de controlo designam-se gráficos de controlo 3σ , como exemplificado na Figura 3.5.

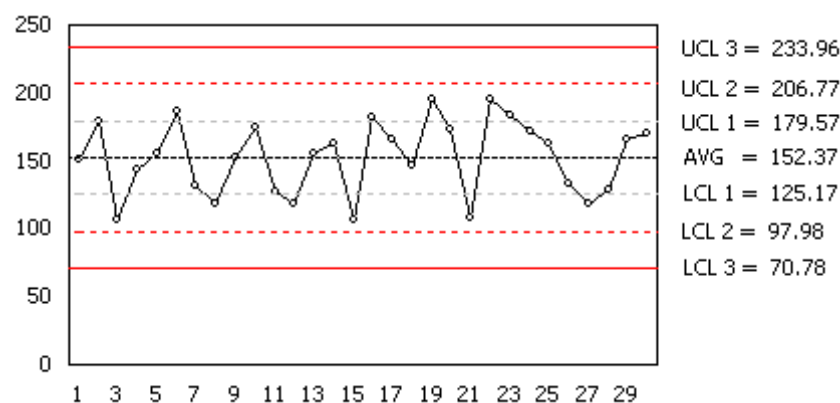


Figura 3.5 - Exemplo de gráfico de controlo 3σ (Databison, 2009)

Para detectar se o processo se encontra fora de controlo, foram utilizadas as regras implementadas pela *Western Electric Company* (WECO)(Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 2003). Segundo a WECO, um processo encontra-se fora de controlo se:

- Se obtiver qualquer ponto acima do limite $+3\sigma$ (UCL3);
- Dois dos últimos três pontos de dados se encontrarem acima da linha $+2\sigma$ (UCL2);
- Se encontrarem oito pontos consecutivos entre a linha central e a linha $+1\sigma$ (UCL1);
- Se encontrarem oito pontos consecutivos entre a linha central e a linha -1σ (LCL1);
- Dois dos últimos três pontos de dados se encontrarem abaixo da linha -2σ (LCL2);
- Se obtiver qualquer ponto abaixo do limite -3σ (LCL3).

Os processos que serão alvo desta metodologia são as variáveis M, LA, R, W, CNC e PPC, depois de filtradas e de calculadas as variâncias. São estes os processos analisados, visto que é nestes que interessa verificar o cumprimento dos parâmetros de controlo.

3.6. Análise e comparação de resultados

Após a implementação das metodologias e análise dos casos de estudo, compararam-se os resultados em termos de presença de BWE nos diferentes níveis de planeamento. Esta comparação pretende examinar a veracidade das hipóteses de estudo propostas no início do presente documento.

4. IMPLEMENTAÇÃO EM CASO DE ESTUDO

Neste capítulo expõem-se as características dos casos de estudo e implementam-se as metodologias descritas no capítulo 3. Expõem-se também os resultados relativos aos critérios e parâmetros de detecção e quantificação de BWE. Faz-se ainda a verificação de controlo dos processos, de forma a garantir que as variáveis em estudo se mantiveram dentro dos limites de controlo definidos e que são passíveis de ser utilizadas de forma fiável no estudo.

4.1. Descrição dos Casos de Estudo

Para implementação das metodologias atrás descritas, utilizaram-se dois casos de estudo distintos: um Caso de Estudo A, correspondente a uma empreitada levada a cabo com recurso ao LPS e um Caso de Estudo B, relativo a uma empreitada com controlo de produção tradicional.

4.1.1. Caso de Estudo A

Este caso de estudo refere-se a um projecto de manutenção periódica de cem quilómetros de extensão, localizado no Perú, América do Sul. Os trabalhos foram levados a cabo pela divisão de obras civis de uma das mais antigas empresas de construção do Perú. O *portfolio* desta empresa conta com a construção de variadas infraestruturas para clientes na área dos transportes, minas e indústria. No caso específico da empreitada relativa a este caso de estudo, o cliente trata-se de uma concessão rodoviária privada.

Os trabalhos realizados na manutenção do trecho rodoviário incluíram as seguintes actividades: *Chip Seal* (aplicação de mistura de emulsão betuminosa com agregado, com o objectivo de dotar a camada primária de solo de alguma coesão), *Fog Seal* (aplicação de emulsão betuminosa diluída, com o objectivo de restaurar a flexibilidade do pavimento), tratamento da superfície duplo, produção de agregados para o tratamento da superfície, incluindo trabalhos de aterro, britagem com moinho terciário e respectiva filtragem de elementos, pintura da sinalização horizontal, limpeza, logística referente aos materiais e procedimentos de segurança e gestão de tráfego. A Figura 4.1 representa a aplicação de *Chip Seal* e na Figura 4.2 demonstra-se a diferença entre uma superfície de asfalto face a uma superfície com *Chip Seal*. Na Figura 4.3, exibe-se a aplicação de *Fog Seal*.



Figura 4.1 - Aplicação de *Chip Seal* (Emery Asphalt and Paving Company, 2011)



Figura 4.2 - Diferença entre *Chip Seal* e asfalto (Ruller, 1996)



Figura 4.3 - Aplicação de *Fog Seal* (Emery Asphalt and Paving Company, 2011)

O projecto foi desenvolvido sem quaisquer acidentes de trabalho. A conclusão dos trabalhos ocorreu uma semana antes da data definida. O lucro obtido foi o esperado – definido contractualmente e repartido pelo cumprimento das metas atingidas.

As actividades preconizadas no projecto foram efectuadas na sua maioria pela empresa contratada, o nível de subcontratação por parte do empreiteiro geral encontrou-se na ordem dos 10%. O equipamento utilizado foi alugado na sua totalidade aos fornecedores e a mão-de-obra directa foi contratada pelo empreiteiro geral. A gestão do projecto ficou a cargo da empresa contratada.

As principais restrições ao bom andamento dos trabalhos relacionaram-se com a fiabilidade dos fornecedores, disponibilidade mecânica e questões de gestão de tráfego.

4.1.2. Caso de Estudo B

Os dados relativos ao Caso de Estudo B foram fornecidos pela empresa STAP – Reparação, Consolidação e Modificação de Estruturas, S.A.. As informações do cliente da empreitada relativa a este caso de estudo encontram-se protegidas por um acordo de confidencialidade, não sendo portanto possível identificar alguns aspectos da obra.

A empreitada em causa refere-se à reabilitação e modernização de um estaleiro naval, incluindo trabalhos de estaleiro, reparação de duas docas, remodelação de instalações eléctricas e remodelação de rede de fluidos.

A reparação das docas engloba os trabalhos de reparação de betão em lajes de fundo, painéis e coroamentos, selagem de furos, reparação de juntas e acabamentos.

A remodelação das instalações eléctricas compreende os trabalhos de passagem de cabos, abertura e fecho de valas e montagem de quadros e caixas de distribuição e eléctrodos.

A reabilitação da rede de fluidos abrange os trabalhos relativos às linhas de recirculação de águas de navios, poços de drenagem e galerias e esgoto de águas de drenagem.

Dado o carácter de reabilitação da estrutura de betão, a quantidade de trabalho realizado excedeu largamente o inicialmente planeado. Nesta empreitada, os trabalhos adicionais revelaram ser o dobro do originalmente contratado, o que exigiu um apertado controlo da produção. Dada a implementação de reuniões semanais de planeamento e andamento de trabalhos, assim como uma constante monitorização do trabalho realizado, o projecto manteve-se sob controlo. O plano base do planeamento foi actualizado sempre que se detectava trabalho adicional e, desta forma, o plano geral foi mantido sob controlo e actualizado durante todo o tempo útil do projecto.

O nível de subcontratação por parte do empreiteiro geral encontrou-se perto dos 20%, correspondendo essencialmente aos trabalhos de reparação de cabos e redes de fluidos e ar.

Um dos aspectos que mais contribuiu para a existência de restrições aos trabalhos a executar foi o facto de o estaleiro naval a reabilitar continuar em funcionamento no decorrer dos trabalhos. A chegada e partida de navios condicionou largamente grande parte dos trabalhos a executar nas docas. Para além disso, as condicionantes relacionadas com o clima na altura do inverno foram também causadoras de alguns atrasos no bom andamento dos trabalhos.

4.2. Processo de trabalho

Após a obtenção dos casos de estudo, foi implementada a metodologia associada à análise pretendida para cada caso.

4.2.1. Caso de Estudo A

Uma vez que o Caso de Estudo A corresponde ao controlo de produção da empreitada com recurso ao LPS, todos os dados necessários à construção da base de dados estavam *a priori* disponibilizados.

4.2.1.1 Base de dados das variáveis do LPS

Após contagem dos itens em cada uma das variáveis segundo a metodologia definida na secção 3.3.2 do capítulo 3, pôde proceder-se à construção das referidas bases de dados e séries temporais associadas. O Quadro 4.1 exibe a base de dados obtida, respeitante às variáveis do Caso de Estudo A.

Quadro 4.1 - Base de dados das variáveis do LPS (Caso de Estudo A)

SEMANA #	SEMANA	VARIÁVEIS DO LPS						
		M	LA	R	BLG	W	CNC	PPC
1	30-08-2004	2	6,15	8,31	14,85	6	4	33%
2	06-09-2004	4	7	16	21	23	9	61%
3	13-09-2004	5	8	14	26	33	18	44%
4	20-09-2004	6	6	8	22	32	9	70%
5	27-09-2004	5	7	3	9	17	7	56%
6	04-10-2004	4	7	4	11	15	9	40%
7	11-10-2004	4	7	14	15	20	8	60%
8	18-10-2004	3	6,15	8,31	14,85	7	3	71%
9	25-10-2004	3	6	23	10	13	3	77%
10	01-11-2004	3	4	6	26	10	2	80%
11	08-11-2004	4	6	2	19	5	1	80%
12	15-11-2004	2	6,15	8,31	14,85	7	6	29%
13	22-11-2004	2	6,15	8,31	14,85	5,62	2,32	52%
14	29-11-2004	2	6	2	4	4	1	75%
15	06-12-2004	2	6	1	3	7	3	43%
16	13-12-2004	2	7	6	7	9	2	78%
17	20-12-2004	2	3	9	20	5,62	2,32	37%

4.2.1.2 Construção das séries temporais originais

Recorrendo ao cálculo da média móvel construiu-se o Quadro 4.2. Este procedimento pretende definir a tendência dos resultados, sem distorção. Desta forma, as variáveis são representadas na forma *_t, em que o “t” se refere à indicação de tendência. Este cálculo é também a base da filtragem dos dados de análise, que se abordará na secção 4.2.1.3 do presente capítulo.

Quadro 4.2 - Média móvel das variáveis em análise (Caso de Estudo A)

MÉDIA MÓVEL						
M_t	LA_t	R_t	BLG_t	W_t	CNC_t	PPC_t
3,00	6,58	12	17,93	14,50	6,50	47%
3,67	7,05	13	20,62	20,67	10,33	46%
5,00	7,00	13	23,00	29,33	12,00	58%
5,33	7,00	8	19,00	27,33	11,33	57%
5,00	6,67	5	14,00	21,33	8,33	55%
4,33	7,00	7	11,67	17,33	8,00	52%
3,67	6,72	9	13,62	14,00	6,67	57%
3,33	6,38	15	13,28	13,33	4,67	69%
3,00	5,38	12	16,95	10,00	2,67	76%
3,33	5,33	10	18,33	9,33	2,00	79%
3,00	5,38	5	19,95	7,33	3,00	63%
2,67	6,10	6	16,23	5,87	3,11	54%
2,00	6,10	6	11,23	5,54	3,11	52%
2,00	6,05	4	7,28	5,54	2,11	57%
2,00	6,33	3	4,67	6,67	2,00	65%
2,00	5,33	5	10,00	7,21	2,44	52%
2,00	5,00	8	13,50	7,31	2,16	57%

Com os dados relativos à tendência das variáveis, é possível construir as séries temporais para cada uma. Este cálculo permite verificar a variabilidade da distorção de cada uma das variáveis relativamente à tendência, permitindo assim ter uma noção da quantidade de variação externa face à variação inerente ao processo do LPS.

4.2.1.2.1 Master Schedule

Para a variável M, verifica-se a série temporal explicitada na Figura 4.4, tendo por abcissas o número de semanas em estudo do projecto e em ordenadas o número de itens encontrados em cada semana no *master plan*.

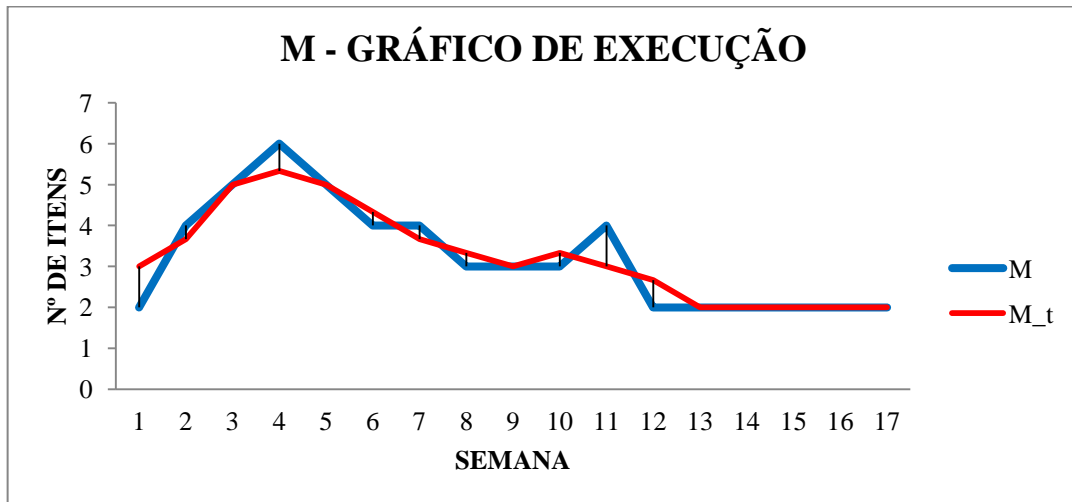


Figura 4.4 - Gráfico de execução e tendência de M (Caso de Estudo A)

Nesta série observa-se um carregamento de *inputs* bastante elevado no primeiro terço de execução do sistema.

4.2.1.2.2 Lookahead Schedule

No caso da variável LA, obteve-se o gráfico exibido na Figura 4.5.

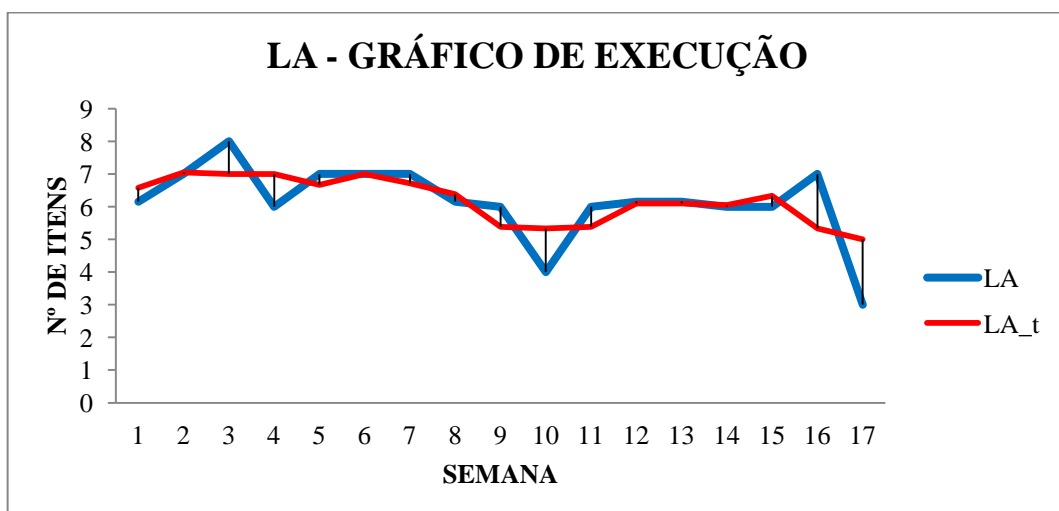


Figura 4.5 - Gráfico de execução e tendência de LA (Caso de Estudo A)

4.2.1.2.3 Constraints

Para a variável R obteve-se o gráfico de execução exemplificado na Figura 4.6.

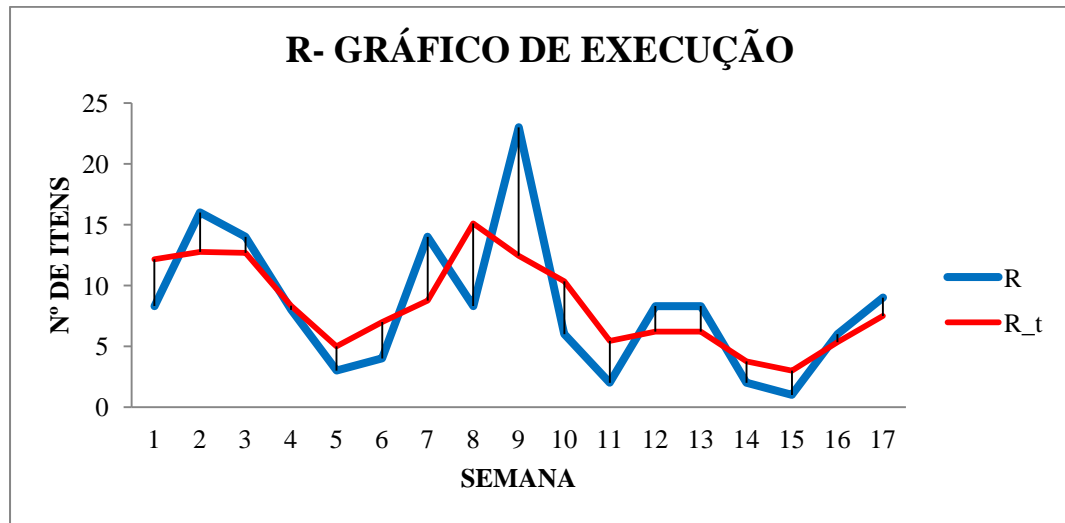


Figura 4.6 - Gráfico de execução e tendência de R (Caso de Estudo A)

4.2.1.2.4 Backlog

No caso da variável BLG, obteve-se a série temporal exposta na Figura 4.7.

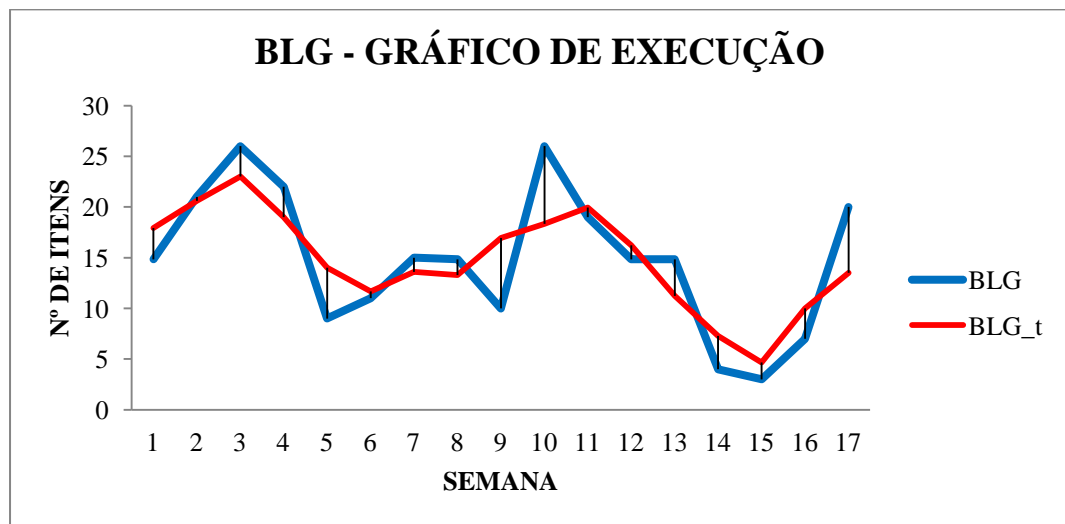


Figura 4.7 - Gráfico de execução e tendência de BLG (Caso de Estudo A)

4.2.1.2.5 Weekly Schedule

Para a variável W obteve-se o gráfico de execução ilustrado na Figura 4.8.

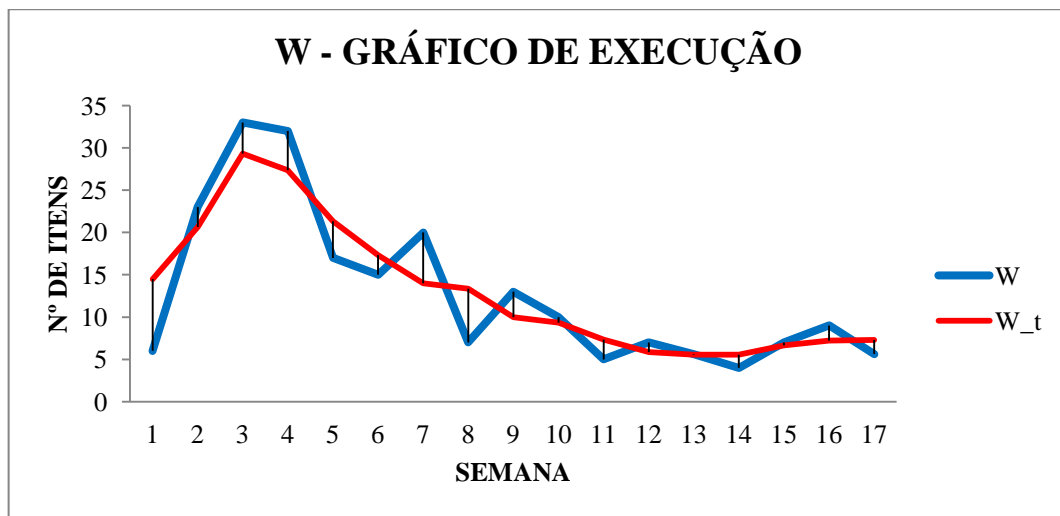


Figura 4.8 - Gráfico de execução e tendência de W (Caso de Estudo A)

4.2.1.2.6 Causas de Não Cumprimento

No caso da variável CNC, obteve-se a série temporal exibida na Figura 4.9.

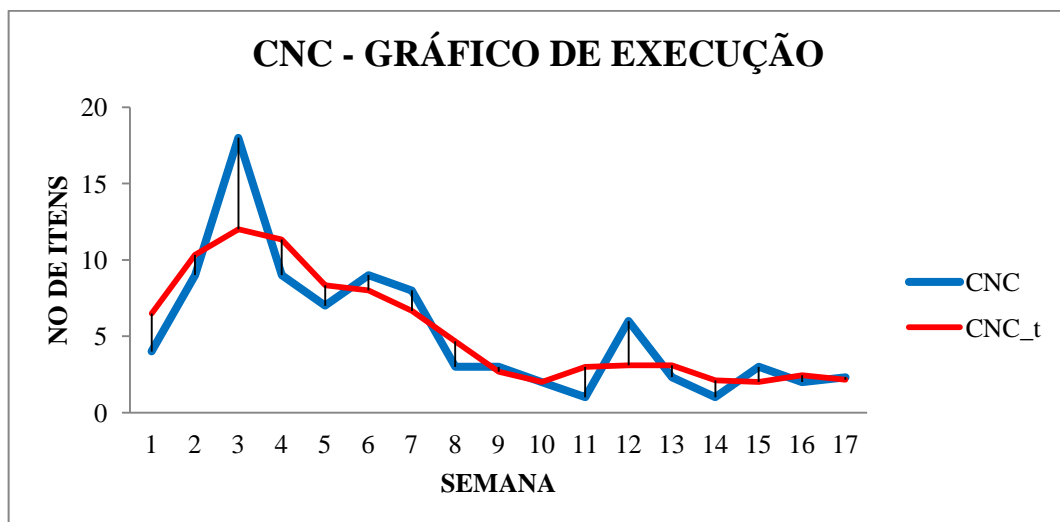


Figura 4.9 - Gráfico de execução e tendência de CNC (Caso de Estudo A)

4.2.1.2.7 PPC

Mais do que todas as outras variáveis, o PPC apresenta uma enorme disparidade da série original relativamente à tendência, como se exibe na Figura 4.10. Este facto deve-se à irregularidade da série original, sendo a tendência de certa forma uma atenuação do PPC livre de variabilidade.

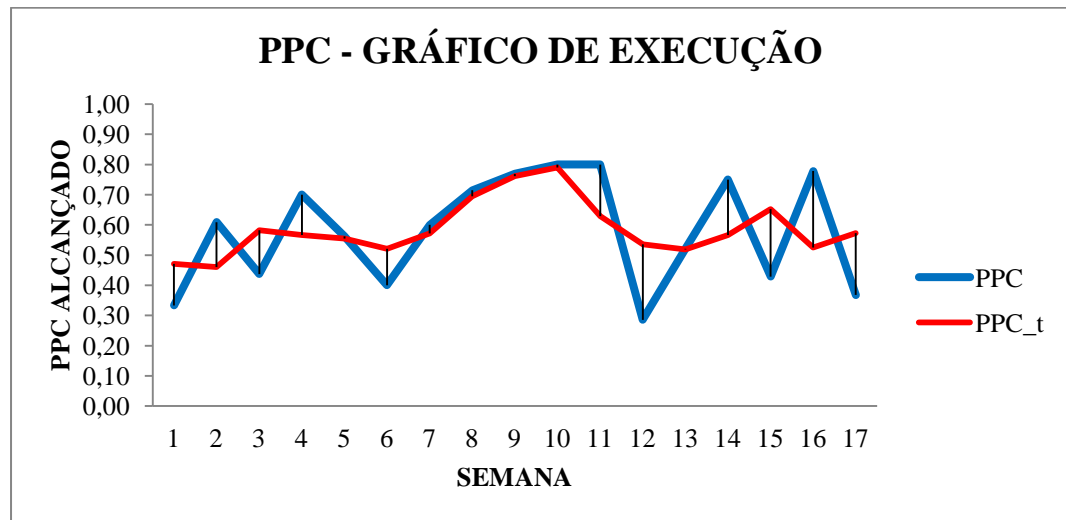


Figura 4.10 - Gráfico de execução e tendência de PPC (Caso de Estudo A)

4.2.1.3 Filtragem de dados

Após o cálculo da média móvel, procede-se à filtragem e cálculo da variância dos dados, visto que para efeitos desta análise importa estudar a variação da distorção ao longo do tempo. Utiliza-se a variância por ser a unidade de medida do BWE utilizada na literatura (Cachon *et al.*, 2007).

4.2.1.4 Logaritmação e diferenciação

Utilizando a fórmula expressa na equação (4.1), calcula-se a logaritmação dos dados expostos no Quadro 4.2.

$$Saída = \log(Entrada) \quad (4.1)$$

Os valores obtidos encontram-se expostos no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Logaritmação de dados (Caso de Estudo A)

LOGARITMAÇÃO APÓS CÁLCULO DA MÉDIA MÓVEL						
M	LA	R	BLG	W	CNC	PPC
0,48	0,82	1,08	1,25	1,16	0,81	-0,33
0,56	0,85	1,11	1,31	1,32	1,01	-0,34
0,70	0,85	1,10	1,36	1,47	1,08	-0,24
0,73	0,85	0,92	1,28	1,44	1,05	-0,25
0,70	0,82	0,70	1,15	1,33	0,92	-0,26
0,64	0,85	0,85	1,07	1,24	0,90	-0,28
0,56	0,83	0,94	1,13	1,15	0,82	-0,24
0,52	0,81	1,18	1,12	1,12	0,67	-0,16
0,48	0,73	1,09	1,23	1,00	0,43	-0,12
0,52	0,73	1,01	1,26	0,97	0,30	-0,10
0,48	0,73	0,74	1,30	0,87	0,48	-0,20
0,43	0,79	0,79	1,21	0,77	0,49	-0,27
0,30	0,79	0,79	1,05	0,74	0,49	-0,29
0,30	0,78	0,58	0,86	0,74	0,32	-0,25
0,30	0,80	0,48	0,67	0,82	0,30	-0,19
0,30	0,73	0,73	1,00	0,86	0,39	-0,28
0,30	0,70	0,88	1,13	0,86	0,33	-0,24

Com a logaritmação dos dados das tendências efectuada, pode proceder-se à diferenciação desses dados, com o objectivo de se obter uma base de dados que se refira aproximadamente à percentagem de mudança entre cada registo. Esta taxa de variação semanal foi obtida recorrendo à fórmula exibida na equação (4.2).

$$Taxa\ de\ variação\ semanal = \log \frac{A}{B} = \log A - \log B \quad (4.2)$$

No Quadro 4.4 expõem-se os resultados obtidos após essa operação, estando assim formada a base de dados para o cálculo das variâncias.

Quadro 4.4 - Diferenciação de dados após logaritmação (Caso de Estudo A)

TAXA DE VARIAÇÃO SEMANAL						
M	LA	R	BLG	W	CNC	PPC
0,09	0,03	0,02	0,06	0,15	0,20	-0,01
0,13	0,00	0,00	0,05	0,15	0,06	0,10
0,03	0,00	-0,18	-0,08	-0,03	-0,02	-0,01
-0,03	-0,02	-0,22	-0,13	-0,11	-0,13	-0,01
-0,06	0,02	0,15	-0,08	-0,09	-0,02	-0,03
-0,07	-0,02	0,10	0,07	-0,09	-0,08	0,04
-0,04	-0,02	0,24	-0,01	-0,02	-0,15	0,08
-0,05	-0,07	-0,08	0,11	-0,12	-0,24	0,04
0,05	0,00	-0,08	0,03	-0,03	-0,12	0,02
-0,05	0,00	-0,28	0,04	-0,10	0,18	-0,10
-0,05	0,05	0,06	-0,09	-0,10	0,02	-0,07
-0,12	0,00	0,00	-0,16	-0,03	0,00	-0,01
0,00	0,00	-0,22	-0,19	0,00	-0,17	0,04
0,00	0,02	-0,10	-0,19	0,08	-0,02	0,06
0,00	-0,07	0,25	0,33	0,03	0,09	-0,09
0,00	-0,03	0,15	0,13	0,01	-0,05	0,04

4.2.1.4.1 Cálculo da variância das séries ajustadas

Depois de filtradas as séries de dados originais, calcularam-se os desvios padrão e variância para cada uma das variáveis. Os resultados desta operação encontram-se descritos no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Desvio Padrão e Variância das séries ajustadas (Caso de Estudo A)

Desvio Padrão (σ) e Variância (σ^2)							
	M	LA	R	BLG	W	CNC	PPC
σ	0,06	0,03	0,16	0,14	0,09	0,12	0,06
σ^2	0,004	0,001	0,027	0,019	0,008	0,015	0,003

4.2.1.5 Controlo de resultados

Por forma a garantir que os resultados obtidos são passíveis de ser utilizados no estudo, torna-se necessário proceder ao controlo dos processos que originaram esses resultados. Assim, e seguindo o método explicitado na secção 3.5.3, os processos a analisar são as taxas de variação semanal para cada variável em estudo. Utilizando essas taxas de variação e o método referido, construiu-se o Quadro 4.6, que ilustra os limites de controlo σ , 2σ e 3σ para as diferentes variáveis.

Quadro 4.6 – Limites de controlo de 1º, 2º e 3º níveis para as variáveis do Caso de Estudo A

Variável	3 σ	2 σ	σ	- σ	-2 σ	-3 σ
M	0,19	0,13	0,06	-0,06	-0,13	-0,19
LA	0,10	0,07	0,03	-0,03	-0,07	-0,10
R	0,49	0,33	0,16	-0,16	-0,33	-0,49
BLG	0,41	0,28	0,14	-0,14	-0,28	-0,41
W	0,26	0,18	0,09	-0,09	-0,18	-0,26
CNC	0,37	0,24	0,12	-0,12	-0,24	-0,37
PPC	0,18	0,12	0,06	-0,06	-0,12	-0,18

Com os valores dos limites de controlo calculados e as taxas de variação para cada variável, determinaram-se os gráficos de controlo de Shewart referentes a cada uma, como apresentado em seguida:

Master Schedule - Para determinar a adequabilidade ao estudo do processo M, calcularam-se os limites de controlo de primeiro, segundo e terceiro níveis para a taxa de variação semanal desta variável. O gráfico de Shewart associado é representado Figura 4.11. Como se pode verificar, nenhum dos parâmetros de controlo definidos na secção 3.5.3 é excedido e, como tal, pode-se afirmar que este processo se encontra sob controlo.

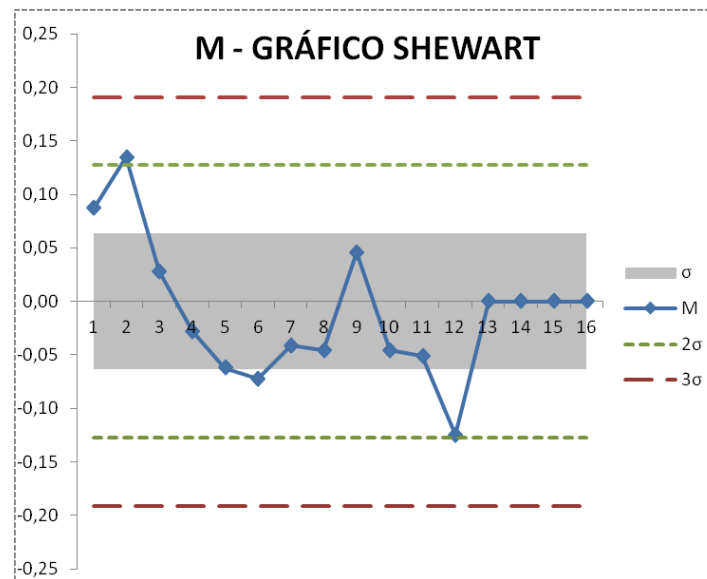


Figura 4.11 - Gráfico de controlo Shewart da variável M (Caso de Estudo A)

Lookahead Schedule - Relativamente à variável LA construiu-se o gráfico de Shewart associado, representado na Figura 4.12. Verifica-se que, também para esta variável, são cumpridos os parâmetros de controlo definidos na metodologia e, assim, este processo encontra-se dentro de controlo.

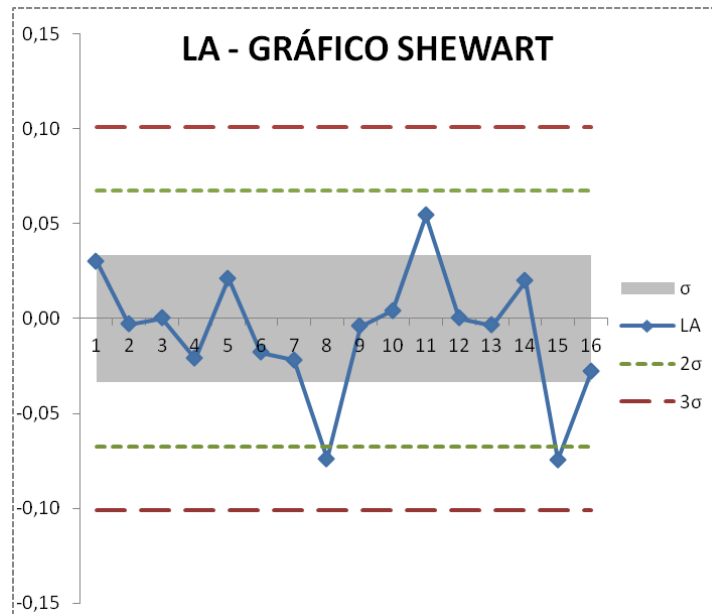


Figura 4.12 - Gráfico de controle Shewart da variável LA (Caso de Estudo A)

Constraints - Aplicando a mesma metodologia à variável R, traçou-se o gráfico apresentado na Figura 4.13, referente ao gráfico de Shewart para a variável em questão. Também para este processo se verifica que o mesmo se encontra dentro dos parâmetros de controle.

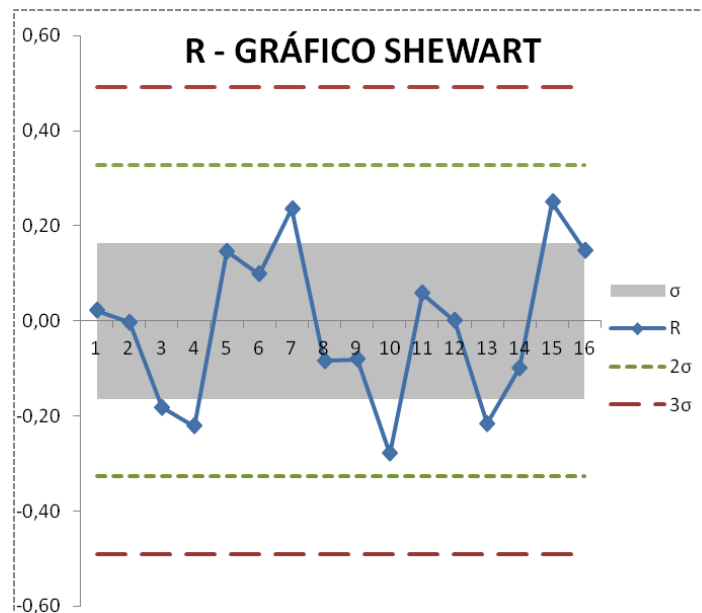


Figura 4.13 - Gráfico de controle Shewart da variável R (Caso de Estudo A)

Backlog - A variável BLG existe apenas no Caso de Estudo A, visto que não existiam dados suficientes para que a mesma fosse definida no Caso de Estudo B. Assim, a análise desta variável serve apenas para demonstrar a transmissão de variabilidade associada às conversações

do LPS neste caso de estudo, dado que sem a apresentação dos dados relativos a esta variável não seria possível demonstrar a transmissão de variabilidade entre variáveis sucessivas. O gráfico associado a esta variável é exibido na Figura 4.14. Verifica-se, assim, que também este processo se encontra sob controlo e é admissível a sua utilização no estudo.

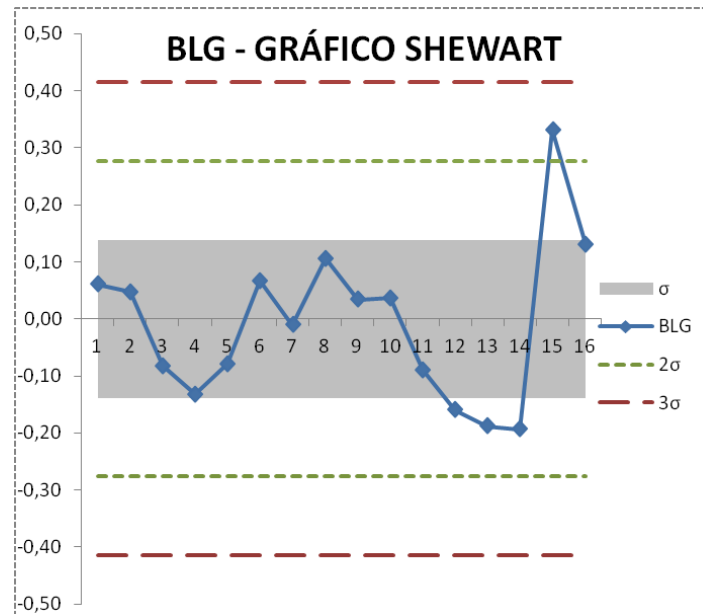


Figura 4.14 - Gráfico de controlo Shewart da variável BLG (Caso de Estudo A)

Weekly Schedule - O gráfico de Shewart associado a este processo (W) é apresentado na Figura 4.15. Como se pode conferir, esta variável encontra-se dentro de controlo estatístico e é passível de ser utilizada no estudo.

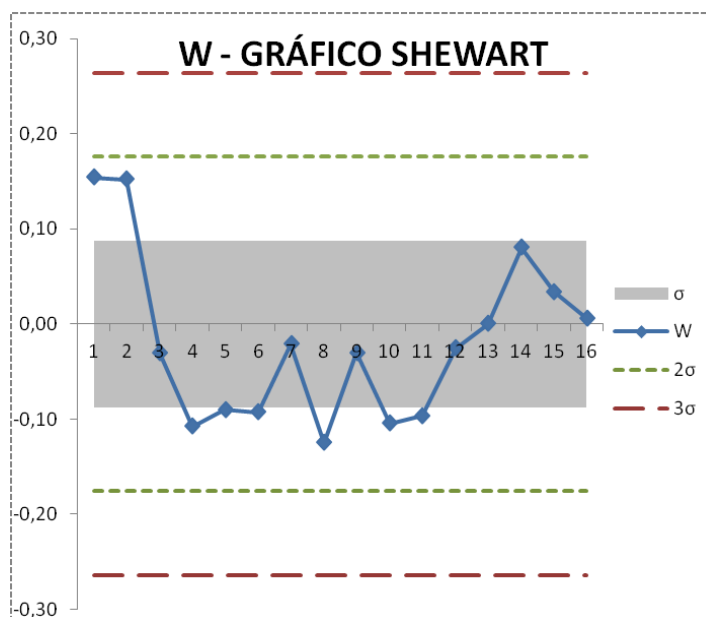


Figura 4.15 - Gráfico de controlo Shewart da variável W (Caso de Estudo A)

Causa de Não Cumprimento – Às causas de não cumprimento, variável CNC, associa-se o gráfico de controlo apresentado na Figura 4.16. Afere-se que, também este processo, se encontra dentro dos limites de controlo e, portanto, verifica os parâmetros de controlo definidos.

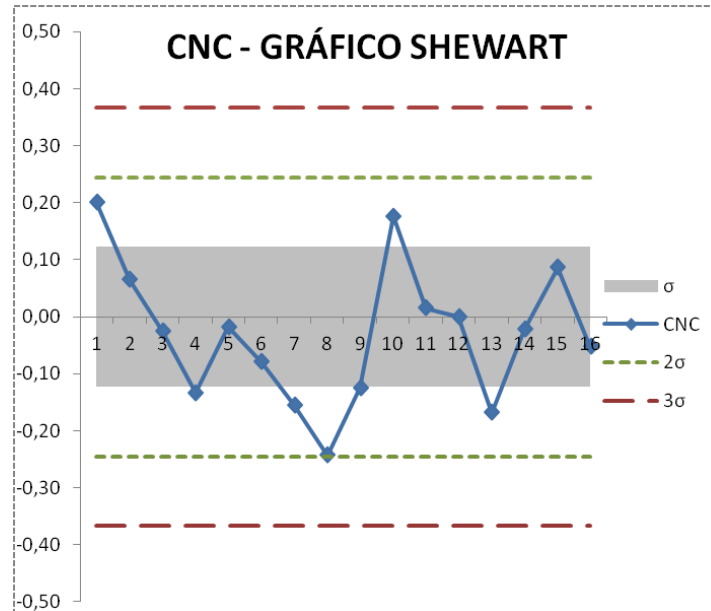


Figura 4.16 - Gráfico de controlo Shewart da variável CNC (Caso de Estudo A)

PPC – Finalmente, para o PPC, verifica-se que, apesar da volatilidade do processo, o PPC se encontra sob controlo, como demonstrado na Figura 4.17.

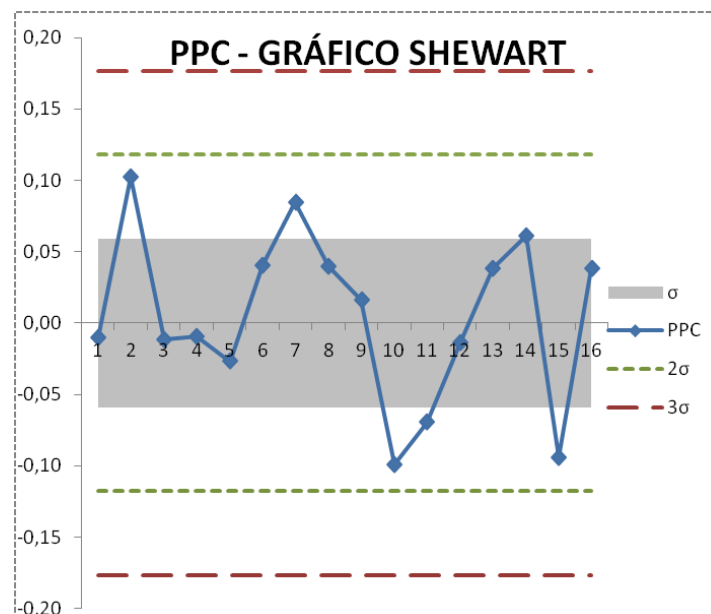


Figura 4.17 - Gráfico de controlo Shewart do PPC (Caso de Estudo A)

A aplicação e análise dos critérios de presença de BWE serão expostas no capítulo 5.

4.2.2. Caso de Estudo B

No Caso de Estudo B, dada a inexistência de planeamento de antevisão, semanal e de relatórios de restrições e causas de não cumprimento, teve de proceder-se à obtenção da base para comparação das variáveis, segundo a metodologia descrita na secção 3.4

4.2.2.1 Obtenção da base para aplicação da metodologia pesquisada

A obtenção da base que possibilitou a comparação dos casos de estudo baseou-se nos ficheiros de planeamento e actualizações dos mesmos, bem como nas actas das reuniões semanais de seguimento dos trabalhos.

4.2.2.1.1 Master Schedule

Para a elaboração da base de dados relativa à variável M, utilizou-se o planeamento original, fornecido no formato de ficheiro de *Microsoft® Project*. Neste ficheiro, aplicaram-se filtros temporais, correspondentes às semanas em análise, e contabilizaram-se os itens que se previa concluir em cada semana. A Figura 4.18 ilustra a escolha do filtro para análise temporal. A Figura 4.19 e a Figura 4.20 representam a selecção dos limites superior e inferior do filtro. Na Figura 4.21 representa-se o processo de contagem dos itens

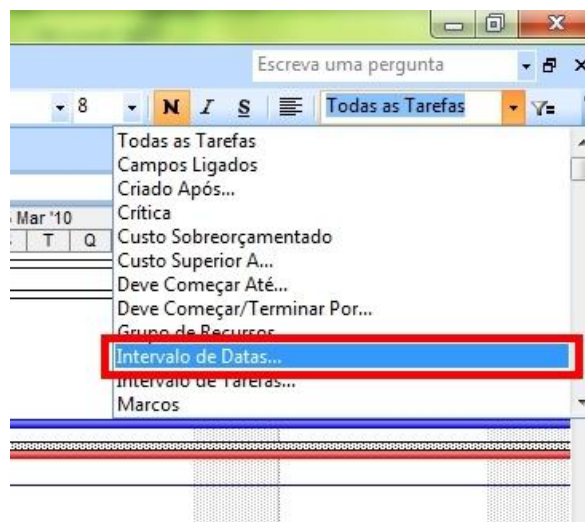


Figura 4.18 - Aplicação de filtros temporais

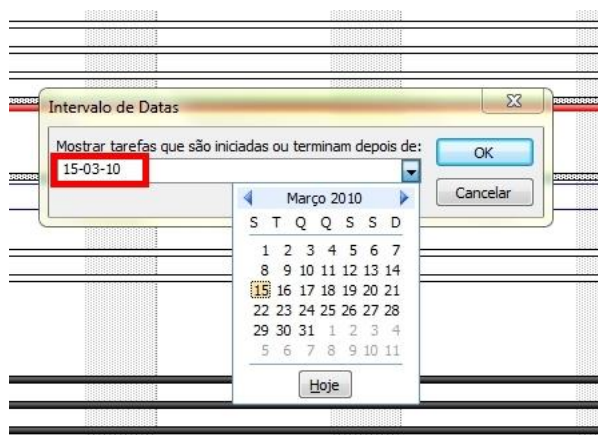


Figura 4.19 - Limite superior do filtro temporal

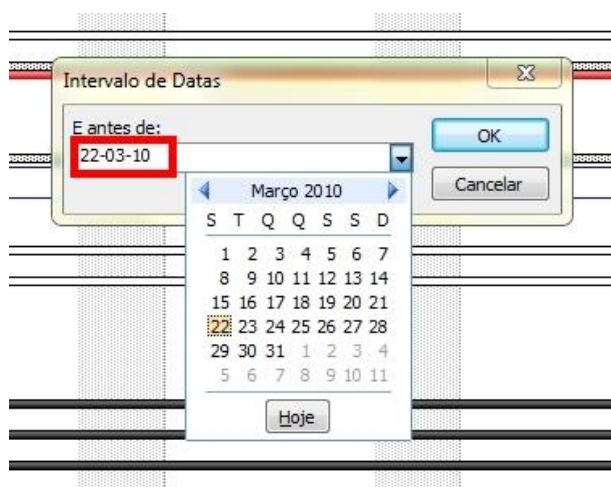


Figura 4.20 - Limite inferior do filtro temporal

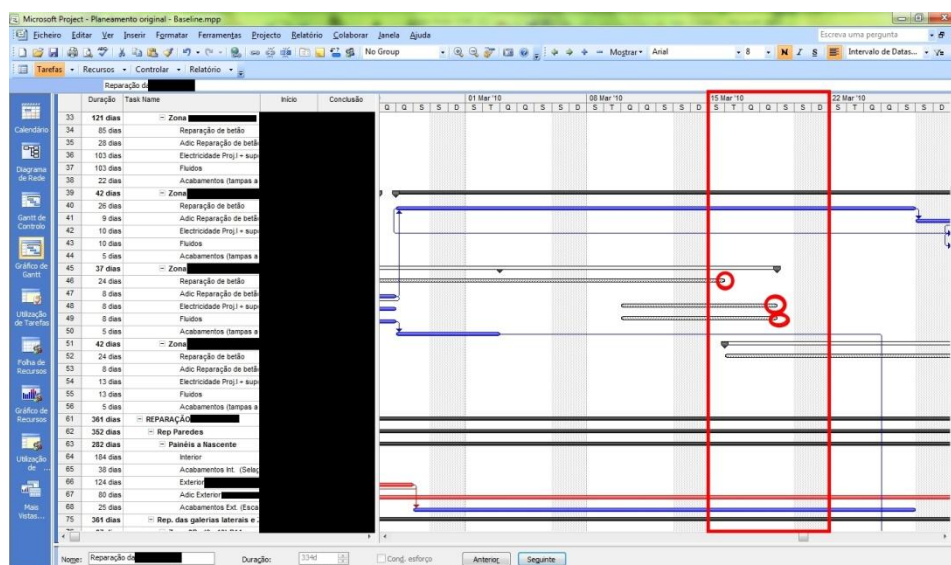


Figura 4.21 - Contagem de itens após aplicação do filtro

Após a contagem dos itens elaborou-se a base de dados referente à variável M, representada no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Base de dados da variável M (Caso de Estudo B)

M		
Nº SEMANA	SEMANA	ITENS
1	08-01-2010	3
2	15-01-2010	5
3	22-01-2010	6
4	29-01-2010	1
5	05-02-2010	1
6	12-02-2010	4
7	19-02-2010	6
8	26-02-2010	6
9	05-03-2010	1
10	12-03-2010	1
11	19-03-2010	1
12	26-03-2010	7
13	02-04-2010	3
14	09-04-2010	3
15	16-04-2010	2
16	23-04-2010	1
17	30-04-2010	1
18	07-05-2010	1

4.2.2.1.2 Lookahead Schedule

Dada a inexistência de um planeamento de antevisão, a base de dados da variável LA foi construída com base nas actas das reuniões semanais. Nestes documentos, foram contabilizados os itens referentes à conclusão de actividades num espaço temporal compreendido entre três e doze semanas a partir da data da reunião.

Na Figura 4.22 exemplifica-se a identificação de itens LA numa acta de reunião.

Acta de Reunião				
		Acta No.: [REDACTED]		
No.	Título	Descrição	Resp.	Prazo
3.		PLANEAMENTO / COORDENAÇÃO DE TRABALHOS / PROGRESSO DE OBRA		
3.1	PROG. TRABALHOS / SEGUIMENTOS	b) <u>galerias</u> A [REDACTED] referiu que foi concluída a intervenção em 50% das galerias. - [REDACTED] – Betonagens concluídas e em desenvolvimento a execução de carotes para a linha de fluidos. A [REDACTED] STAP confirmou a data de 15/02/2010 para a conclusão da instalação eléctrica; - [REDACTED] concluir a 12/5/2010; - [REDACTED] concluir a 12/4/2010; - [REDACTED] concluir a 21/7/2010; - [REDACTED] concluir a 31/8/2010, ficando		

Figura 4.22 - Contagem de itens LA

Após a análise e identificação dos itens em todas as actas, procedeu-se à construção da base de dados LA, apresentada no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 - Base de dados da variável LA (Caso de Estudo B)

LA		
SEMANA Nº	SEMANA	ITENS
1	12-01-2010	9
2	19-01-2010	2
3	26-01-2010	3
4	02-02-2010	6
5	09-02-2010	2
6	18-02-2010	2
7	23-02-2010	2
8	02-03-2010	3
9	09-03-2010	1
10	16-03-2010	5
11	23-03-2010	1
12	30-03-2010	1
13	06-04-2010	5
14	13-04-2010	1
15	20-04-2010	1
16	27-04-2010	3
17	04-05-2010	3
18	11-05-2010	0

4.2.2.1.3 Constraints

O procedimento de identificação dos itens R foi semelhante ao dos LA. A razão de ser da escolha desse procedimento prende-se igualmente com o facto de não existirem relatórios específicos quanto à existência de restrições ao desenvolver dos trabalhos. Desta forma, foram analisadas as actas e identificados os tópicos referentes a restrições e condicionalismos ao desenvolver dos trabalhos em cada uma delas, como exemplificado na Figura 4.23.

Acta de Reunião				
		Acta No.: [REDACTED]		
No.	Título	Descrição	Resp.	Prazo
3.		PLANEAMENTO / COORDENAÇÃO DE TRABALHOS / PROGRESSO DE OBRA		
3.1	PROG. TRABALHOS / SEGUIMENTOS	<p>a) laje da [REDACTED] Até à data foram intervencionados aproximadamente 60% da superfície delaminada detectada, correspondendo a 120% da área inicial prevista reparar.</p> <p>Relativamente ao [REDACTED] regista-se um atraso na conclusão da reparação de betão no sector [REDACTED] (actividade [REDACTED]). Consequência dos condicionalismos devidos à pintura do navio docado, a betonagem numa área de aproximadamente 300m² no sector Central prevista para 27/1/2010 foi adiada</p> <p>A [REDACTED] referiu que a STAP deverá aproveitar o próximo período de desocupação da doca previsto a partir de 6/2/2010 para concluir os trabalhos na zona [REDACTED] o que possibilitará a realização de docagens no sector [REDACTED]</p> <p>b) galerias Até à data foram intervencionados aproximadamente 45% da superfície delaminada detectada, correspondendo a 50% da área inicial prevista reparar.</p> <p>Relativamente ao [REDACTED] regista-se um atraso na conclusão da reparação de betão da [REDACTED] (actividade [REDACTED]), sendo necessário intensificar o trabalho nesta frente. Removidos os cabos de IE (ver ponto 4.2) a STAP vai complementar a calendarização detalhada por troços de 10m da intervenção da [REDACTED], adiantando a informação de estar a proceder ao desvio do cabo para iniciar a picagem da parede do lado da doca durante esta semana.</p> <p>A consignação da zona 5 e 6 está condicionada à conclusão da montagem dos Q Inversores Contratuais, Q Barramento Adicionais e QE's de BT sob o PT7.2, tratando-se numa</p>	<p>STAP</p> <p>STAP</p> <p>STAP</p>	

Figura 4.23 - Identificação de itens R

Depois de devidamente identificados todos os itens, construiu-se a base de dados R, como demonstra o Quadro 4.9.

Quadro 4.9 - Base de dados da variável R (Caso de Estudo B)

R		
SEMANA #	SEMANA	ITENS
1	12-01-2010	5
2	19-01-2010	4
3	26-01-2010	10
4	02-02-2010	9
5	09-02-2010	5
6	18-02-2010	3
7	23-02-2010	6
8	02-03-2010	3
9	09-03-2010	2
10	16-03-2010	2
11	23-03-2010	2
12	30-03-2010	3
13	06-04-2010	1
14	13-04-2010	5
15	20-04-2010	5
16	27-04-2010	4
17	04-05-2010	4
18	11-05-2010	4

4.2.2.1.4 Weekly Schedule

A base de dados relativa à variável W foi construída com base nas actualizações semanais dos ficheiros de planeamento. O procedimento de contagem de itens foi semelhante ao utilizado para a construção da base de dados da variável M, com a diferença de se utilizar um ficheiro diferente (actualizado) para cada semana.

À identificação e contagem dos itens nas actualizações semanais do planeamento seguiu-se a organização dos mesmos em base de dados, que se evidencia no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 - Base de dados da variável W (Caso de Estudo B)

W			
SEMANA #	SEMANA	ACTUALIZAÇÃO #	ITENS
1	08-01-2010	1	8
2	15-01-2010	1	4
3	22-01-2010	2	5
4	29-01-2010	3	4
5	05-02-2010	4	4
6	12-02-2010	5	3
7	19-02-2010	6	4
8	26-02-2010	7	2
9	05-03-2010	8	2
10	12-03-2010	9	3
11	19-03-2010	10	2
12	26-03-2010	11	4
13	02-04-2010	12	1
14	09-04-2010	13	4
15	16-04-2010	14	1
16	23-04-2010	15	4
17	30-04-2010	16	3
18	07-05-2010	17	3

4.2.2.1.5 Causas de Não Cumprimento

Para a geração da base de dados da variável CNC, seguiu-se a metodologia descrita na secção 3.4.5. Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 - Base de dados da variável CNC

CNC				
SEMANA #	SEMANA	ITENS W	PPC	ITENS CNC
1	08-01-2010	8	33%	5,3
2	15-01-2010	4	17%	3,3
3	22-01-2010	5	0%	5,0
4	29-01-2010	4	60%	1,6
5	05-02-2010	4	100%	0,0
6	12-02-2010	3	50%	1,5
7	19-02-2010	4	50%	2,0
8	26-02-2010	2	100%	0,0
9	05-03-2010	2	20%	1,6
10	12-03-2010	3	67%	1,0
11	19-03-2010	2	33%	1,3
12	26-03-2010	4	29%	2,9
13	02-04-2010	1	67%	0,3
14	09-04-2010	4	100%	0,0
15	16-04-2010	1	29%	0,7
16	23-04-2010	4	67%	1,3
17	30-04-2010	3	50%	1,5
18	07-05-2010	3	40%	1,8

4.2.2.1.6 PPC

Dado que no decorrer da obra não foi registado o PPC semanal, foi necessário proceder à identificação do mesmo, recorrendo à metodologia descrita na secção 3.4.6 do capítulo 3.

Deste modo, contabilizou-se o número de itens com previsão concluída para a semana X no plano base da actualização N do planeamento e, posteriormente, na actualização $N+1$ (actualização feita após a semana X), contabilizaram-se os itens efectivamente concluídos.

Para a construção da base de dados, após a contagem dos itens relevantes, calculou-se o PPC com base na equação (3.4).

A base de dados obtida é representada no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 - Base de dados do PPC (Caso de Estudo B)

PPC					
SEMANA #	SEMANA "N"	ACTUALIZAÇÃO #	ITENS "N"	ITENS "N+1"	PPC
1	08-01-2010	1	3	1	33%
2	15-01-2010	1	6	1	17%
3	22-01-2010	2	1	0	0%
4	29-01-2010	3	5	3	60%
5	05-02-2010	4	2	2	100%
6	12-02-2010	5	2	1	50%
7	19-02-2010	6	6	3	50%
8	26-02-2010	7	1	1	100%
9	05-03-2010	8	5	1	20%
10	12-03-2010	9	3	2	67%
11	19-03-2010	10	6	2	33%
12	26-03-2010	11	7	2	29%
13	02-04-2010	12	3	2	67%
14	09-04-2010	13	2	2	100%
15	16-04-2010	14	7	2	29%
16	23-04-2010	15	6	4	67%
17	30-04-2010	16	6	3	50%
18	07-05-2010	17	5	2	40%

4.2.3. Base de dados das variáveis

Depois de obtida a base de comparação, é possível reorganizar as bases de dados e construir as séries temporais originais. No Quadro 4.13 pode-se observar o resumo das bases de dados das variáveis, assim como do PPC.

Quadro 4.13 - Base de dados síntese (Caso de Estudo B)

SEMANA #	SEMANA	M	LA	W	R	PPC	CNC
1	08-01-2010	3	9	8	5	33%	5,3
2	15-01-2010	5	2	4	4	17%	3,3
3	22-01-2010	6	3	5	10	0%	5,0
4	29-01-2010	1	6	4	9	60%	1,6
5	05-02-2010	1	2	4	5	100%	0,0
6	12-02-2010	4	2	3	3	50%	1,5
7	19-02-2010	6	2	4	6	50%	2,0
8	26-02-2010	6	3	2	3	100%	0,0
9	05-03-2010	1	1	2	2	20%	1,6
10	12-03-2010	1	5	3	2	67%	1,0
11	19-03-2010	1	1	2	2	33%	1,3
12	26-03-2010	7	1	4	3	29%	2,9
13	02-04-2010	3	5	1	1	67%	0,3
14	09-04-2010	3	1	4	5	100%	0,0
15	16-04-2010	2	1	1	5	29%	0,7
16	23-04-2010	1	3	4	4	67%	1,3
17	30-04-2010	1	3	3	4	50%	1,5
18	07-05-2010	1	0	3	4	40%	1,8

4.2.3.1 Construção das séries temporais originais

Após a obtenção da base de dados das variáveis num formato comparável ao do Caso de Estudo A, recorreu-se de igual forma ao cálculo da média móvel para este novo conjunto de dados. Os resultados obtidos são os dispostos no Quadro 4.14, que contempla igualmente a representação da tendência das variáveis na forma *_t.

Quadro 4.14 - Média móvel das variáveis em análise (Caso de Estudo B)

Média Móvel					
M_t	LA_t	W_t	R_t	CNC_t	PPC_t
4,00	5,50	6,00	4,50	4,33	25%
4,67	4,67	5,67	6,33	3,31	17%
4,00	3,67	4,33	7,67	3,30	26%
2,67	3,67	4,33	8,00	0,80	53%
2,00	3,33	3,67	5,67	0,75	70%
3,67	2,00	3,67	4,67	1,75	67%
5,33	2,33	3,00	4,00	1,00	67%
4,33	2,00	2,67	3,67	0,80	57%
2,67	3,00	2,33	2,33	0,87	62%
1,00	2,33	2,33	2,00	1,73	40%
3,00	2,33	3,00	2,33	2,10	43%
3,67	2,33	2,33	2,00	1,60	43%
4,33	2,33	3,00	3,00	0,17	65%
2,67	2,33	2,00	3,67	0,36	65%
2,00	1,67	3,00	4,67	0,68	65%
1,33	2,33	2,67	4,33	0,89	48%
1,00	2,00	3,33	4,00	1,07	52%
1,00	1,50	3,00	4,00	1,07	45%

Com este conjunto de dados, torna-se possível recorrer novamente à metodologia para a construção das séries temporais originais para cada variável, como efectuado para o Caso de Estudo A.

4.2.3.1.1 Master Schedule

A série temporal original da variável M é exibida na Figura 4.24.

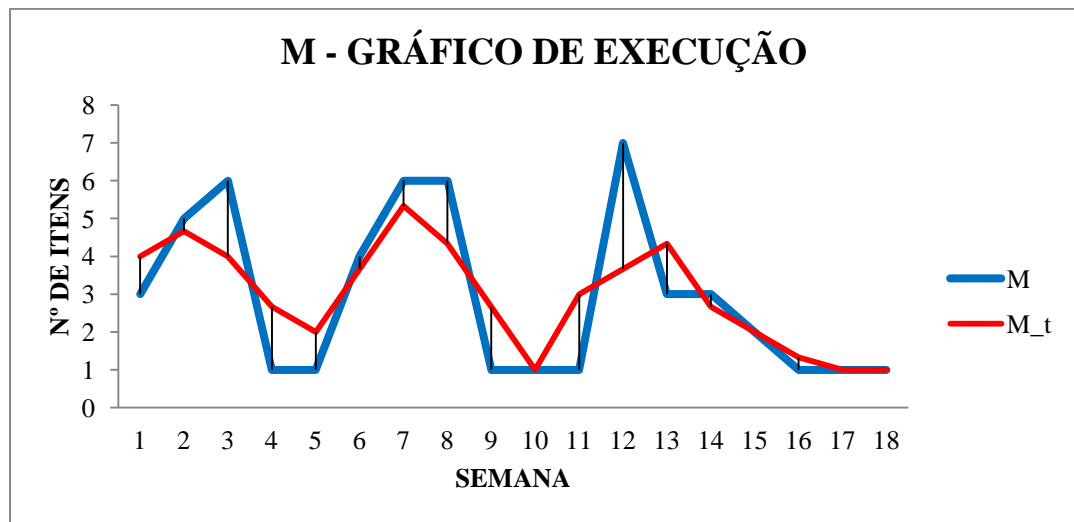


Figura 4.24 - Gráfico de execução e tendência de M (Caso de Estudo B)

Verifica-se um carregamento de *inputs* distribuído de forma desigual ao longo do período em análise, consequência da existência de restrições ao andamento dos trabalhos, que se sabia de antemão virem a existir, como a entrada de navios em doca.

4.2.3.1.2 Lookahead Schedule

Para a variável LA obteve-se a série representada na Figura 4.25. Também para esta variável é possível observar a existência de falhas no carregamento de *inputs*, com a mesma causa referida para a variável M.

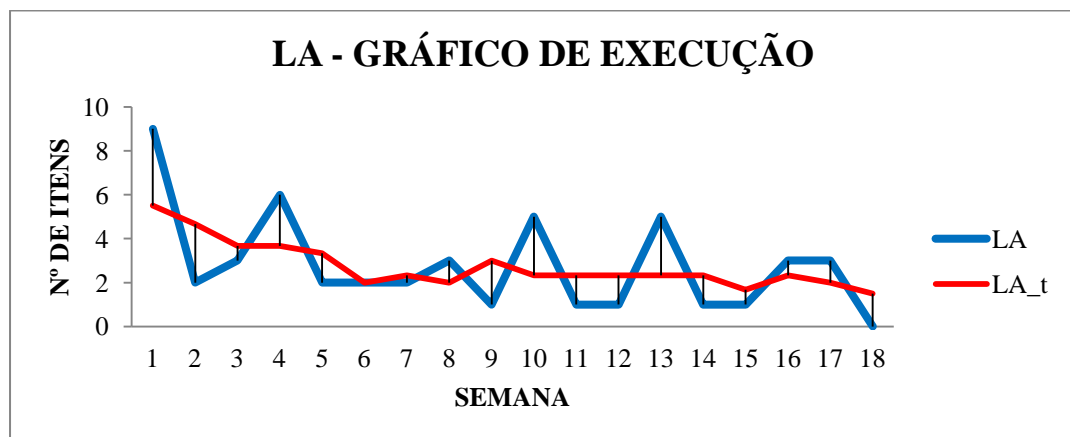


Figura 4.25 - Gráfico de execução e tendência de LA (Caso de Estudo B)

4.2.3.1.3 Constraints

No caso da variável R, o carregamento de *inputs* é bastante mais suave, como o demonstra a série original exibida na Figura 4.26.

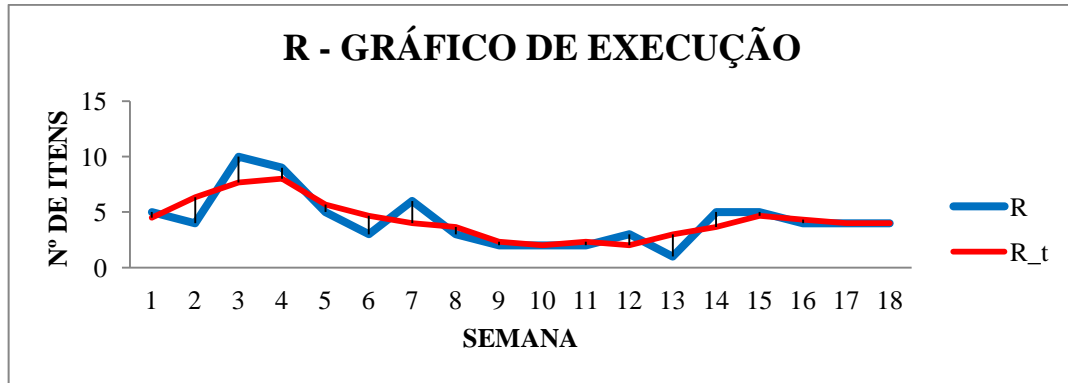


Figura 4.26 - Gráfico de execução e tendência de R (Caso de Estudo B)

4.2.3.1.4 Weekly Schedule

Também no gráfico da variável W é possível detectar falhas no carregamento de *inputs*, visto tratar-se de uma variável associada a um planeamento e, portanto, dependente de restrições. Este gráfico é representado na Figura 4.27.

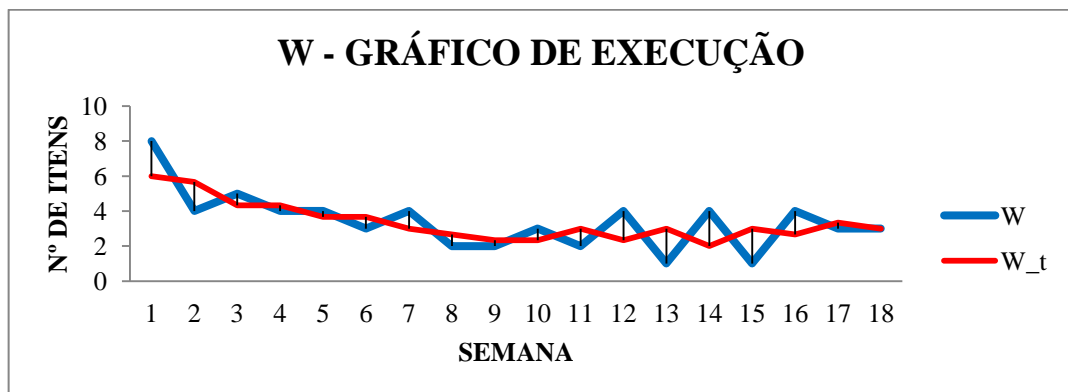


Figura 4.27 - Gráfico de execução e tendência de W (Caso de Estudo B)

4.2.3.1.5 Causas de Não Cumprimento

Relativamente à variável CNC, verifica-se a série temporal exposta na Figura 4.28. Esta variável apresenta uma tendência relativamente constante após um período inicial de elevado carregamento de inputs, fruto dos baixos níveis de PPC registados na fase inicial do estudo.

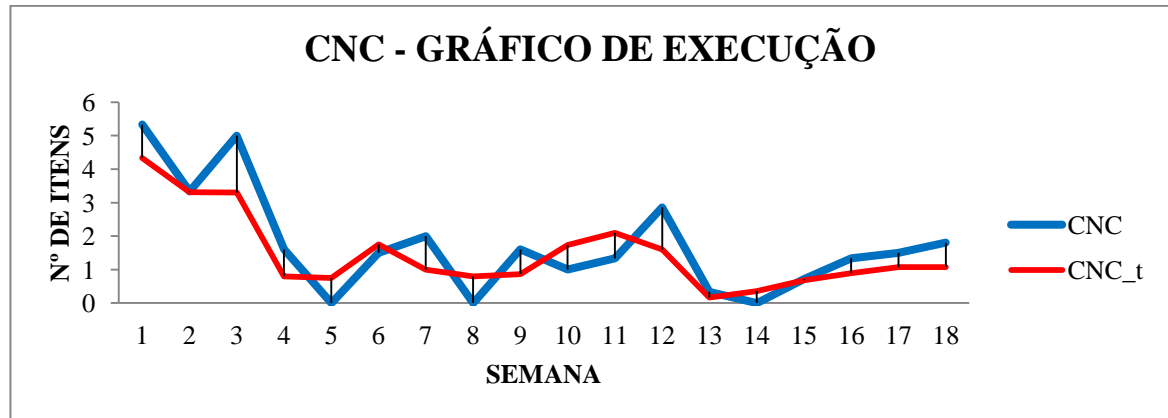


Figura 4.28 - Gráfico de execução e tendência de CNC (Caso de Estudo B)

4.2.3.1.6 PPC

O PPC apresenta uma distribuição bastante díspar, como apresentado na Figura 4.29. Uma das razões que levou a esta distribuição foi a elevada quantidade de trabalhos adicionais. A existência de uma incidência de valor de PPC nulo e duas de valor cem devem-se ao facto de, em algumas semanas, a quantidade de actividades a desempenhar ser extremamente baixa – devido à restrição imposta pela presença de navios em estaleiro - o que leva a que seja relativamente fácil cumprir ou não cumprir a totalidade dessas actividades.

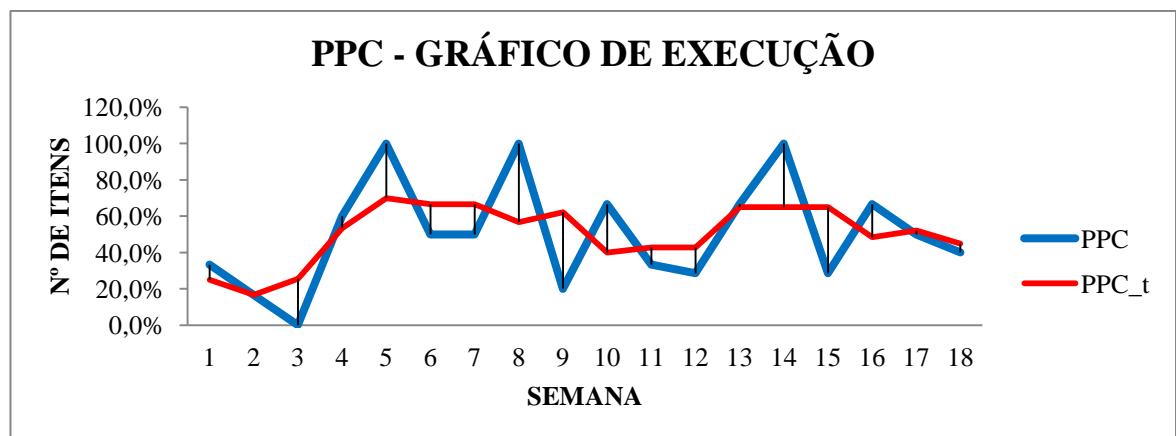


Figura 4.29 - Gráfico de execução e tendência de PPC (Caso de Estudo B)

4.2.3.2 Filtragem de dados

A filtragem dos dados segue a mesma metodologia utilizada para o Caso de Estudo A. Tendo em conta que se pretende fazer uma análise comparativa, os parâmetros em estudo são os mesmos.

4.2.3.2.1 Logaritmação e diferenciação

Para efectuar a logaritmação dos registos referentes à média móvel, utilizou-se a equação (4.1) **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** Os resultados obtidos são expostos no Quadro 4.15

Quadro 4.15 - Logaritmação de dados (Caso de Estudo B)

LOGARITMAÇÃO APÓS CÁLCULO DA MÉDIA MÓVEL					
M	LA	W	R	PPC	CNC
0,60	0,74	0,78	0,65	-0,60	0,64
0,67	0,67	0,75	0,80	-0,78	0,52
0,60	0,56	0,64	0,88	-0,59	0,52
0,43	0,56	0,64	0,90	-0,27	-0,10
0,30	0,52	0,56	0,75	-0,15	-0,13
0,56	0,30	0,56	0,67	-0,18	0,24
0,73	0,37	0,48	0,60	-0,18	0
0,64	0,30	0,43	0,56	-0,25	-0,10
0,43	0,48	0,37	0,37	-0,21	-0,06
0,00	0,37	0,37	0,30	-0,40	0,24
0,48	0,37	0,48	0,37	-0,37	0,32
0,56	0,37	0,37	0,30	-0,37	0,20
0,64	0,37	0,48	0,48	-0,19	-0,78
0,43	0,37	0,30	0,56	-0,19	-0,45
0,30	0,22	0,48	0,67	-0,19	-0,17
0,12	0,37	0,43	0,64	-0,32	-0,05
0,00	0,30	0,52	0,60	-0,28	0,03
0,00	0,18	0,48	0,60	-0,35	0,03

Em seguida, recorrendo à equação (4.2), elaborou-se o Quadro 4.16, referente à taxa de variação semanal para este caso de estudo.

Quadro 4.16 - Diferenciação de dados após logaritmação (Caso de Estudo B)

TAXA DE VARIAÇÃO SEMANAL					
M	LA	W	R	PPC	CNC
-0,07	0,07	0,02	-0,15	0,18	0,12
0,07	0,10	0,12	-0,08	-0,19	0,00
0,18	0,00	0,00	-0,02	-0,32	0,62
0,12	0,04	0,07	0,15	-0,12	0,03
-0,26	0,22	0,00	0,08	0,02	-0,37
-0,16	-0,07	0,09	0,07	0	0,24
0,09	0,07	0,05	0,04	0,07	0,10
0,21	-0,18	0,06	0,20	-0,04	-0,04
0,43	0,11	0,00	0,07	0,19	-0,30
-0,48	0,00	-0,11	-0,07	-0,03	-0,08
-0,09	0,00	0,11	0,07	0	0,12
-0,07	0,00	-0,11	-0,18	-0,18	0,99
0,21	0,00	0,18	-0,09	0	-0,33
0,12	0,15	-0,18	-0,10	0	-0,28
0,18	-0,15	0,05	0,03	0,13	-0,11
0,12	0,07	-0,10	0,03	-0,03	-0,08
0	0,12	0,05	0	0,06	0

4.2.3.2.2 Cálculo da variância das séries ajustadas

Tal como efectuado para o Caso de Estudo A, com a taxa de variação semanal é possível obter o desvio padrão e variância para cada uma das variáveis em estudo. Os resultados deste processo apresentam-se no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 - Desvio Padrão e Variância das séries ajustadas (Caso de Estudo B)

Desvio Padrão (σ) e Variância (σ^2)						
	M	LA	W	R	PPC	CNC
σ	0,21	0,10	0,09	0,10	0,13	0,341
σ^2	0,044	0,010	0,009	0,011	0,017	0,116

4.2.3.3 Controlo de resultados

Para garantir a admissibilidade dos resultados no estudo, é necessário recorrer ao controlo dos processos que originaram esses resultados. Assim, e seguindo o método explicitado na secção 3.5.3, os processos a analisar são as taxas de variação semanal para cada variável em estudo.

Para além de garantir a adequabilidade dos resultados no estudo de cada caso, o controlo de resultados permite também garantir que, se os processos se encontrarem dentro de controlo, são passíveis de ser comparados com os do outro caso de estudo – visto que esses processos já foram analisados e se encontram dentro de controlo.

Desta forma, tal como foi efectuado para o Caso de Estudo A, o Quadro 4.18 reflecte os valores obtidos para os limites de controlo σ , 2σ e 3σ para as diferentes variáveis para o Caso de Estudo B.

Quadro 4.18 – Limites de controlo de 1º, 2º e 3º níveis para as variáveis do Caso de Estudo B

Variável	3σ	2σ	σ	$-\sigma$	-2σ	-3σ
M	0,63	0,42	0,21	-0,21	-0,42	-0,63
LA	0,30	0,20	0,10	-0,10	-0,20	-0,30
R	0,31	0,21	0,10	-0,10	-0,21	-0,31
W	0,28	0,19	0,09	-0,09	-0,19	-0,28
CNC	1,02	0,68	0,34	-0,34	-0,68	-1,02
PPC	0,39	0,26	0,13	-0,13	-0,26	-0,39

Após o cálculo dos limites de controlo, desenharam-se os gráficos de controlo de Shewart para cada variável deste caso de estudo, como se expõe em seguida:

Master Schedule – Para a variável M, obteve-se o gráfico exibido na Figura 4.30. Verifica-se que este processo se encontra dentro de controle e, como tal, é passível de ser utilizado no estudo e é comparável com a variável análoga do Caso de Estudo A.

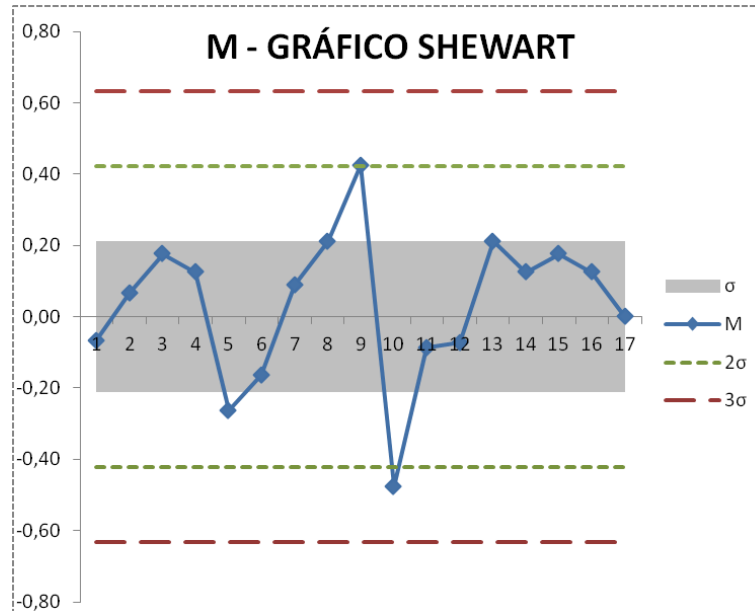


Figura 4.30 - Gráfico de controle Shewart da variável M (Caso de Estudo B)

Lookahead Schedule – Relativamente à variável LA elaborou-se o gráfico representado na Figura 4.31. De acordo com os parâmetros explicitados na metodologia, este processo encontra-se dentro de controle e é passível de ser utilizado na análise comparativa.

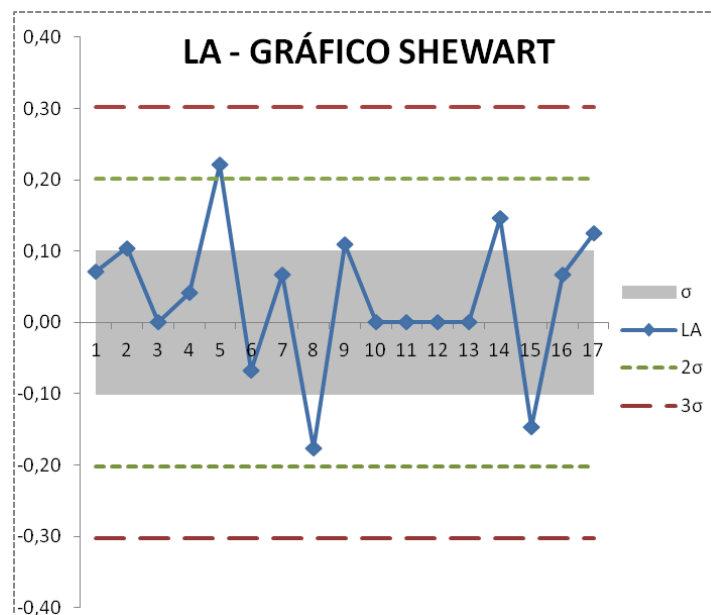


Figura 4.31 - Gráfico de controle Shewart da variável LA (Caso de Estudo B)

Constraints – Também a variável R se encontra dentro dos parâmetros de controlo e é admitida a sua utilização no estudo, como se pode verificar no gráfico representado na Figura 4.32.

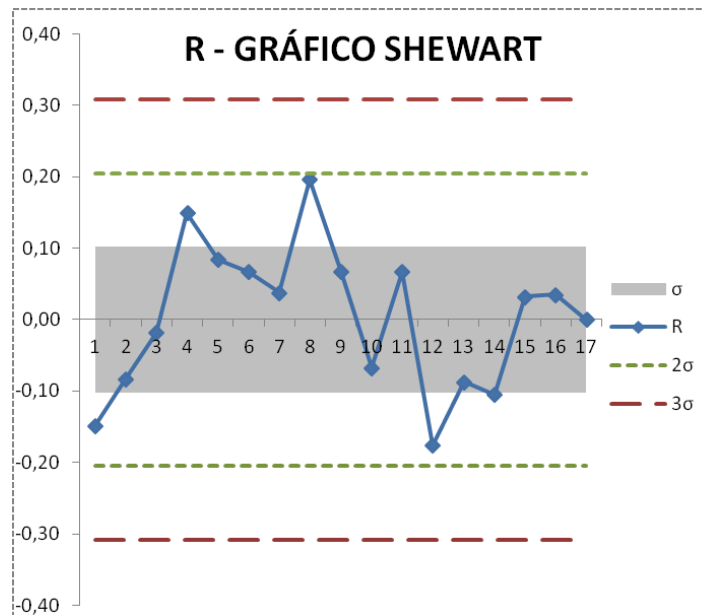


Figura 4.32 - Gráfico de controlo Shewart da variável R (Caso de Estudo B)

Weekly Schedule – Embora mais volátil, também o processo W é utilizável no estudo e comparável com os resultados do Caso de Estudo A, visto que verifica os parâmetros de controlo, como se demonstra na Figura 4.33.

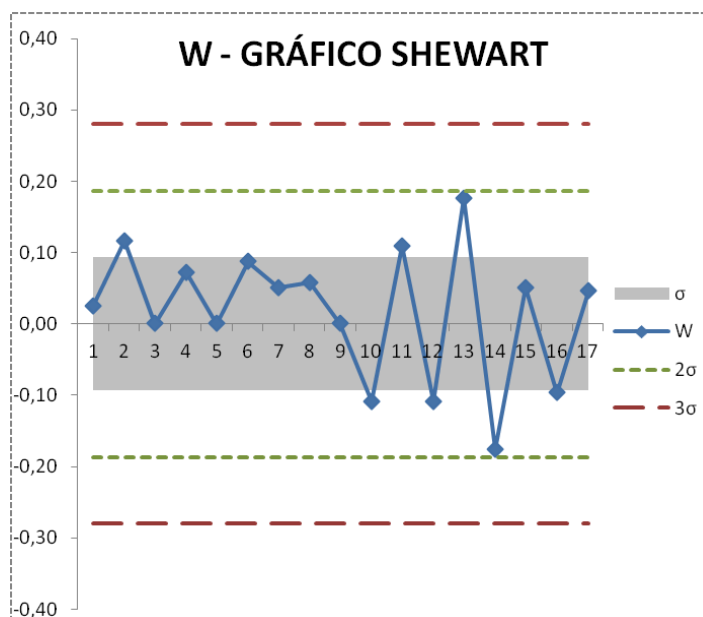


Figura 4.33 - Gráfico de controlo Shewart da variável W (Caso de Estudo B)

Causas de Não Cumprimento – O processo CNC é o que, devido à instabilidade associada a esta variável, se encontra mais próximo do limite de controlo. Ainda assim, como se pode verificar na Figura 4.34, cumpre os parâmetros de controlo e pode ser utilizado no estudo em questão.

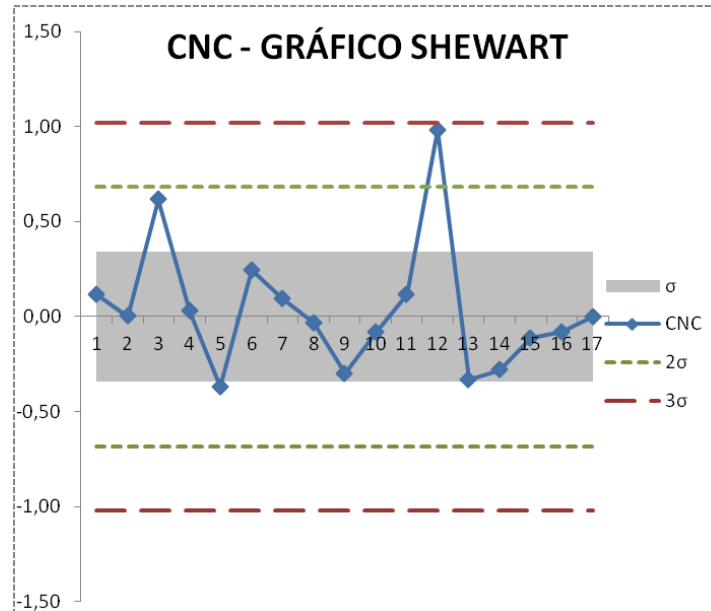


Figura 4.34 - Gráfico de controlo Shewart da variável CNC (Caso de Estudo B)

PPC – Também o processo referente ao PPC se encontra dentro dos parâmetros de controlo e é admitida a sua utilização no estudo, como se pode verificar no gráfico representado na Figura 4.35.

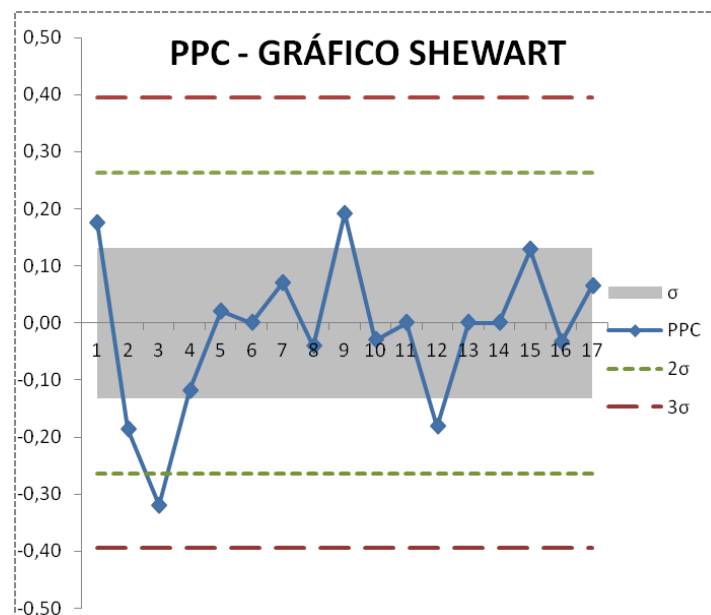


Figura 4.35 - Gráfico de controlo Shewart do PPC (Caso de Estudo B)

No capítulo 5 apresenta-se uma discussão dos resultados obtidos neste capítulo e realiza-se a análise comparativa entre os casos de estudo A e B.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo analisam-se os resultados obtidos e faz-se uma discussão e análise comparativa desses resultados.

5.1. Caso de Estudo A

Nesta secção expõem-se os resultados relativos à presença e quantificação do BWE no Caso de Estudo A e apresenta-se a explicação desses resultados.

5.1.1. Análise de índices BWE

Para este caso de estudo verifica-se a existência de BWE nas relações W:LA, CNC:W e R:LA, como se exemplifica no Quadro 5.1. Estes valores sugerem que, por cada ponto percentual de variação no *input* considerado, o *output* varia em razão superior.

Quadro 5.1 - Índices BWE (Caso de Estudo A)

ÍNDICES BWE			
RELAÇÃO DE VARIÁVEIS	<i>OUTPUT : INPUT</i>	<i>OUTPUT - INPUT</i>	EXISTÊNCIA DE BWE
LA:M	0,28	-0,0029	Não
W:LA	6,84	0,0066	Sim
CNC:W	1,94	0,0072	Sim
R:LA	23,72	0,0257	Sim
BLG:R	0,71	-0,0077	Não
W:BLG	0,40	-0,0114	Não
W:R	0,29	-0,0191	Não

Para a relação CNC:W os resultados obtidos traduzem-se no facto de uma alteração no plano semanal reflectir-se em mais do que uma mudança na variável CNC. Para W:LA e R:LA verifica-se que cada mudança no plano LA provoca grandes alterações em W e R, i.e. uma variação de 1% em LA traduz-se em 24% de variação em R. Alarcón e Zegarra (2012) sugerem que esta razão entre variáveis pode ser entendida como uma taxa de fluxo entre os *inputs* e *outputs*. Desta forma, essa razão pode representar um estado *Push*, *Pull* ou mesmo de carência de transição de *inputs* para *outputs*. Nesta perspectiva, um valor de BWE igual à unidade representa uma situação *pull* ideal – na qual cada ponto percentual de variação no *input* se traduz num ponto percentual de variação no *output*.

O valor de BWE inferior à unidade, como por exemplo no caso da relação LA:M, representa uma situação em que se têm poucos itens no plano geral (M) e na qual esses itens são desagregados e expandidos para níveis inferiores semanalmente. Neste caso, o plano LA é utilizado

para controlar não só os *deliverables*, mas também outros processos que – por impraticabilidade de controlo ao nível semanal – não são incluídos no plano geral.

5.1.2. Discussão

Com este caso de estudo pode-se concluir que o índice BWE varia ao longo do modelo causal do LPS. O BWE varia consoante as variáveis consideradas, tendo-se obtido valores de BWE inferiores à unidade para as relações LA:M, BLG:R, W:BLG e W:R e superiores à unidade para as relações W:LA, R:LA e CNC:W. Este comportamento descreve a variabilidade do processo de agregação e desagregação de conversações – nos diferentes níveis hierárquicos – que é requerida para a formação de condições favoráveis à geração de *throughput* (Alarcón e Zegarra, 2012). Esta agregação e desagregação pode ser verificada na Figura 5.1, que contabiliza o percentil noventa, o percentil dez, o máximo e o mínimo da taxa de variação semanal de cada variável face às restantes.

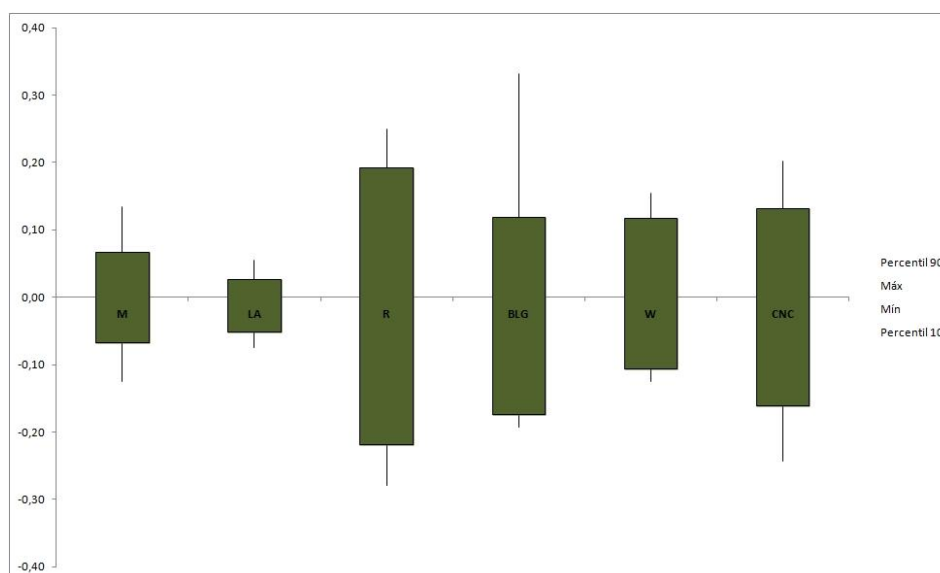


Figura 5.1 - Agregação e Desagregação da variabilidade nas conversações (Caso de Estudo A)

O valor de BWE atingido para as relações R:LA e W:LA destaca a importância destes elementos. Os elevados valores sugerem uma forte actividade entre estas variáveis. No caso das restrições (variável R), esta situação revela-se particularmente relevante dado o impacto das restrições no PPC.

5.2. Caso de Estudo B

De forma análoga ao procedimento seguido para o Caso de Estudo A, nesta secção expõem-se os resultados relativos à presença e quantificação do BWE para o Caso de Estudo B.

5.2.1. Análise de índices BWE

Para este caso de estudo verifica-se a existência de BWE nas relações CNC:W e R:LA, de acordo com o exibido no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Índices BWE (Caso de Estudo B)

ÍNDICES BWE			
RELAÇÃO DE VARIÁVEIS	OUTPUT:INPUT	OUTPUT-INPUT	EXISTÊNCIA DE BWE
LA:M	0,23	-0,0343	Não
W:LA	0,86	-0,0015	Não
CNC:W	13,32	0,1074	Sim
R:LA	1,03	0,0003	Sim
W:R	0,83	-0,0018	Não

O elevado valor obtido para a relação CNC:W traduz-se no facto de, dado o cariz de planeamento a um nível macroscópico do controlo de produção tradicional, não serem analisadas a fundo as restrições de cada actividade antes de as mesmas darem entrada no plano de trabalhos. Este facto tem impacto negativo no PPC semanal e, consequentemente, nas causas de não cumprimento do plano. Como se verifica no quadro acima apresentado, cada ponto percentual de variação no planeado para determinada semana manifesta-se numa variação de mais de treze por cento nas causas de não cumprimento.

Na relação R:LA obteve-se um valor de BWE próximo da unidade, o que, segundo a teoria de Alarcón e Zegarra (2012), pode representar uma situação *pull* ideal. Isto deve-se ao facto de, dada a inexistência de um plano de antevisão oficial, a promessa de cumprimento das actividades de futuro próximo efectuada nas actas estar intimamente ligada à detecção de restrições, preocupação igualmente presente nas actas semanais de reunião.

Dado o cariz bastante geral de detalhe das actividades a cumprir no plano geral de trabalhos (M), o valor de BWE obtido para a relação LA:M representa uma situação em que se têm poucos itens no plano geral e que são expandidos para níveis inferiores semanalmente (LA e W). No entanto, ao contrário do que aconteceu no Caso de Estudo A, este facto deve-se não à presença de níveis inferiores de planeamento, mas sim à existência de uma elevada quantidade de trabalhos adicionais que não estavam previstos no plano geral original mas que eram posteriormente incluídos nas actualizações do plano base e actas de reunião.

5.2.2. Discussão

Para este caso de estudo conclui-se que o índice BWE varia de nível para nível do planeamento. Este índice atinge valores inferiores à unidade para as relações LA:M, W:LA e W:R. Para as relações CNC:W e R:LA verificam-se valores de BWE superiores à unidade. Este procedimento relata a variabilidade do processo de agregação e desagregação de itens de um nível de planeamento para o outro, que pode ser verificado na Figura 5.2. Esta Figura contabiliza o percentil noventa, o percentil dez, o máximo e o mínimo da taxa de variação semanal de cada variável face às restantes. É possível verificar a existência de um grande desfasamento entre o valor máximo e o percentil noventa dos valores da taxa de variação para as variáveis M e CNC e entre o valor mínimo e o percentil dez da variável M. Constatase assim que, embora este desfasamento exista devido à existência de picos limite isolados nas taxas de variação semanal, o processo de distribuição de tarefas/actividades e de detecção/identificação de causas de não cumprimento poderia ser optimizado com um controlo de produção mais adequado a esta empreitada.

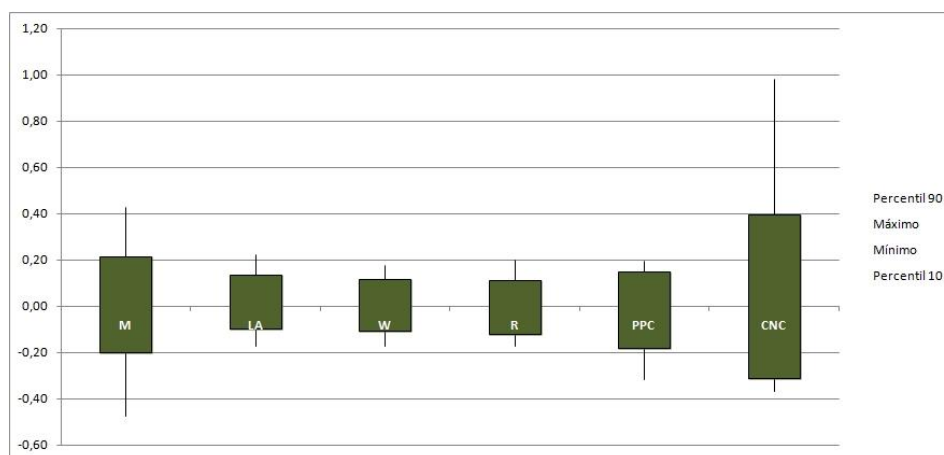


Figura 5.2 - Agregação e Desagregação da variabilidade nas conversações (Caso de Estudo B)

Embora no método de controlo tradicional utilizado neste caso de estudo exista oficialmente apenas um nível de planeamento (plano geral), verifica-se que os prazos acordados para conclusão de actividades estipulados nas actas de reunião – utilizados neste estudo como variável LA – têm em conta a detecção de restrições ao bom andamento dessas actividades. Este comportamento é evidenciado pelo valor próximo da unidade atingido pelo índice BWE na relação R:LA.

No caso da relação CNC:W, o índice apresenta um valor alto, indiciando que cada alteração no planeado para a semana traduz-se num forte aumento das causas de não cumprimento. Este facto é explicado pela elevada quantidade de trabalhos adicionais detectados semana após semana no decorrer da empreitada.

5.3. Análise Comparativa e Discussão Geral

Após a análise dos dois casos de estudo pode-se verificar que, em ambos, é detectada a presença de BWE, como se demonstra no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Comparação Índices BWE

Relação	Output : Input		BWE	
	Caso de Estudo A	Caso de Estudo B	Caso de Estudo A	Caso de Estudo B
LA:M	0,28	0,23	Não	Não
W:LA	6,84	0,86	Sim	Não
CNC:W	1,94	13,32	Sim	Sim
R:LA	23,72	1,03	Sim	Sim
W:R	0,29	0,83	Não	Não

A presença de BWE para a relação W:LA só foi detectada para o Caso de Estudo A, dado que no controlo de produção tradicional não existe um plano de antevisão oficial. Como tal, nem todos os itens do plano geral do Caso de Estudo B são desagregados para um nível inferior de planeamento, o que se reflecte na ausência de BWE para esta relação no caso B – que de outra forma seria expectável existir e ser elevado, dada a constante descoberta de trabalhos adicionais.

O valor obtido para a relação CNC:W está em concordância com a realidade das empreitadas: No caso A o planeado foi em geral cumprido e, portanto, verifica-se um valor de BWE relativamente baixo, embora o mesmo subsista. No caso B, dada a detecção constante de trabalhos adicionais ao longo de toda a empreitada, verifica-se um valor de BWE bastante elevado. Este facto induz a questão de se não seria de rever e otimizar o método de detecção de trabalhos adicionais utilizado pela empresa contratada para a empreitada.

Na relação R:LA apurou-se um valor do índice bastante elevado para o Caso de Estudo A, indiciando a importância destes elementos. O facto de o valor ser francamente superior à unidade sugere a natureza *push* da identificação de restrições relativamente às actividades que figuram no plano de antevisão – possivelmente identificadas com base nas relações resultantes do método do caminho crítico existente no plano geral, como por exemplo actividades críticas e relações de interdependência de actividades. Para o Caso de Estudo B obteve-se um valor de BWE próximo da unidade, visto que a estipulação de prazos para conclusão de actividades a médio prazo (superior a três semanas) está intimamente ligada à detecção de restrições. Assim, a cada ponto percentual de variabilidade associada à variável R, neste caso de estudo, corresponde quase igual valor percentual em termos de LA.

Verifica-se que na relação LA:M se obtiveram valores de BWE semelhantes para ambos os casos de estudo. Como foi já referido, os baixos valores do índice obtidos para esta relação

apontam para uma situação em que se têm poucos itens no plano geral relativamente ao número de itens efectivamente existentes no plano de antevisão. No caso A esta situação advém do facto de os itens existentes no plano geral serem desagregados e expandidos para o plano de antevisão, por impraticabilidade de os incluir em detalhe no plano geral para controlo ao nível semanal. No caso B, verifica-se que o baixo valor de BWE resulta da detecção de trabalhos adicionais que não estavam previstos no plano geral original mas que foram incluídos nas actualizações de plano base à medida que eram detectados e referidos nas actas de reunião semanais.

Na relação W:R afere-se um valor do índice bastante superior no Caso de Estudo B face ao caso A. Esta situação deriva do facto de, no caso A, existirem restrições relacionadas com a gestão de tráfego, tornando assim a variável R altamente volátil face ao plano semanal. No caso B, embora R apresente também um comportamento bastante inconstante, verifica-se que a variável W segue um comportamento semelhante, explicando assim o valor mais próximo da unidade atingido para o índice.

No entanto, apesar da presença de BWE em maior número de relações no Caso de Estudo A, verifica-se que, em termos quantitativos, a presença de variabilidade é bastante superior no Caso B. Esta situação pode ser observada na Figura 5.3, na qual se verifica que os picos da taxa de variação semanal atingem os seus valores mais extremos para variáveis do Caso de Estudo B. Esses picos limite são particularmente elevados em M e CNC, dada a elevada variabilidade associada à quantidade de itens dispostos no plano geral original (cuja quantidade de itens de semana para semana tem em consideração a existência de navios em estaleiro) e de causas de não cumprimento (altamente volátil dada a detecção constante de trabalhos adicionais). No caso A o maior pico detectado é referente às restrições, dadas as condicionantes relativas à gestão de tráfego na empreitada.

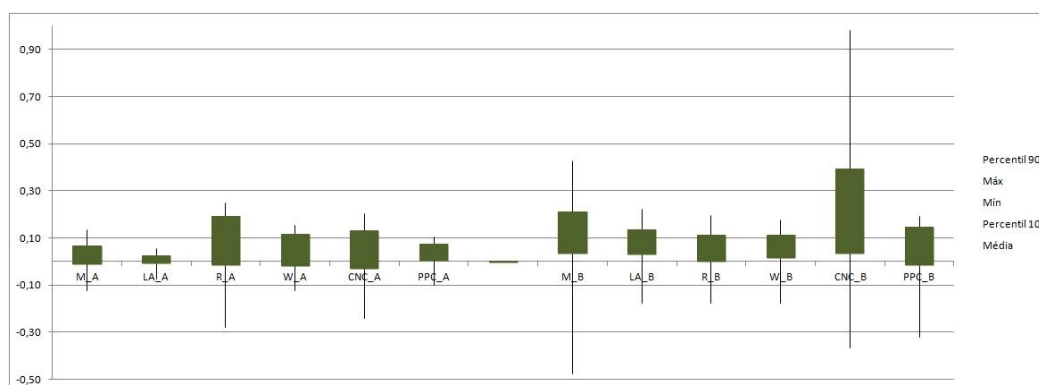


Figura 5.3 - Comparação da agregação e desagregação da variabilidade nas conversações dos Casos de Estudo A e B

Verifica-se que o BWE não é totalmente detectado pelo PPC. Avaliando o comportamento da performance nos casos de estudo apenas com base nos valores do índice BWE, indicaria

que o Caso de Estudo A se caracterizava por uma performance inferior ao Caso de Estudo B – o que não é de todo verdade. Como se pode verificar na Figura 5.4, no caso A obteve-se valores de PPC bastante consistentes ao longo da empreitada, ao passo que no caso B esses valores são inconstantes. De facto, no caso A – com utilização de LPS - verificou-se um PPC médio de 58%, com um desvio padrão de 17.79%, enquanto no caso B – controlo tradicional – se obteve um PPC médio de 50.6% com um desvio padrão de 29.22%.

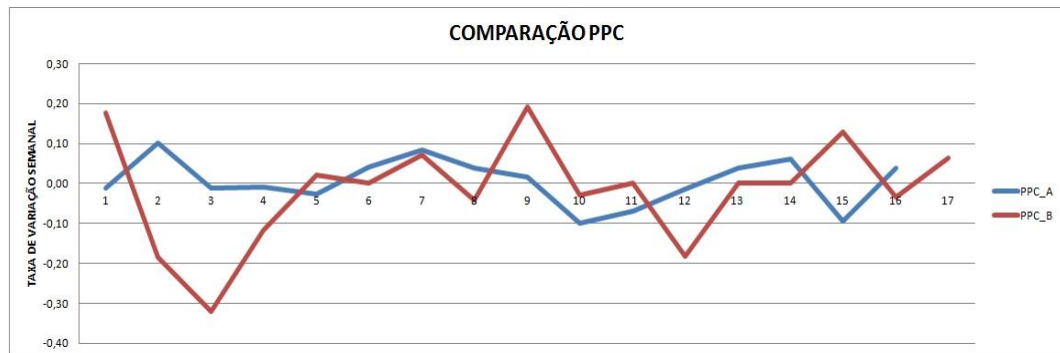


Figura 5.4 – Comparação da taxa de variação do PPC dos Casos de Estudo A e B

Também quando se compara a taxa de variação relativa ao plano geral, verifica-se que existe uma grande variação no plano geral do Caso de Estudo B, quando comparado com o caso A, como se afere na Figura 5.5. O facto de, no caso A, desagregarem-se os itens do plano geral para níveis inferiores contribui para a estabilidade exibida pela variável M desse caso de estudo. Já para o caso B, verifica-se uma inconsistência típica de um plano geral que contabiliza diversos itens e que tenta, desde uma fase inicial, ter em conta as restrições – mesmo sem as mesmas estarem completamente detectadas e definidas.



Figura 5.5 – Comparação da taxa de variação de M dos Casos de Estudo A e B

Quando se compara as taxas de variação semanal de LA para os dois casos de estudo, constata-se que, também nesta variável, é notória a estabilidade presente no caso A face à volati-

lidade do caso B, como se pode verificar na Figura 5.6. Na empreitada com recurso ao LPS houve transferência de actividades para o plano de antevisão com conhecimento dos executantes e com simultânea detecção de restrições, promovendo assim a estabilidade exibida.

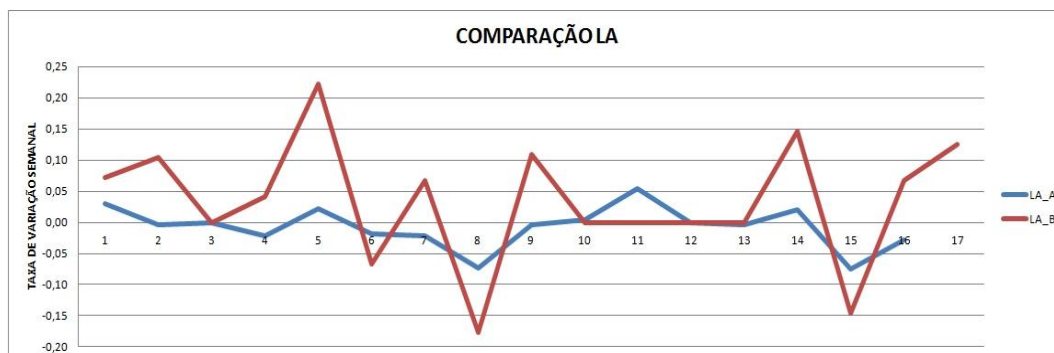


Figura 5.6 - Comparação da taxa de variação de LA dos Casos de Estudo A e B

Na Figura 5.7, relativa a R, verifica-se a instabilidade da taxa de variação semanal quer no caso A quer no B. Como anteriormente referido, no caso A a instabilidade deve-se à variação das restrições devido à gestão de tráfego. No caso B, a taxa de variação das restrições apresenta também um comportamento relativamente volátil, embora em menor grau do que o das restantes variáveis.

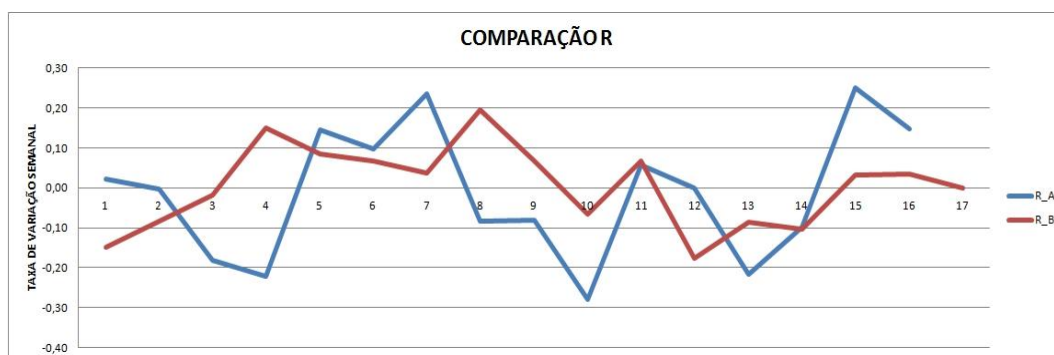


Figura 5.7 - Comparação da taxa de variação de R dos Casos de Estudo A e B

Relativamente ao plano semanal, a taxa de variação semanal apresenta um comportamento menos volátil no caso A face ao comportamento do caso B, como seria de esperar de uma empreitada com recurso ao LPS. A presença de navios em estaleiro, assim como a detecção de trabalhos adicionais, introduz uma forte variação no comportamento de W do caso B, que se repercute e amplifica no decorrer do tempo. Esta situação é exemplificada na Figura 5.8.

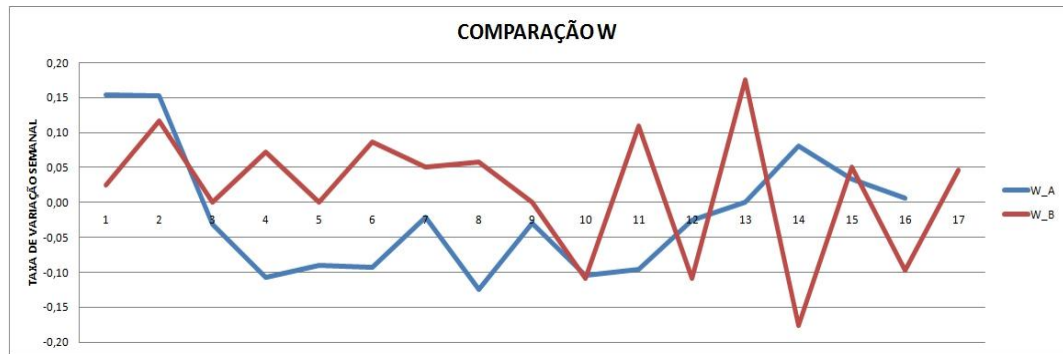


Figura 5.8 - Comparação da taxa de variação de W dos Casos de Estudo A e B

Como seria de esperar, um comportamento relativamente volátil da taxa de variação semanal do PPC aliado a um também instável comportamento da variação do plano semanal, traduz-se numa taxa de variação de causas de não cumprimento pouco estável no caso B. Já no caso A, analogamente, obtém-se uma taxa de variação de CNC razoavelmente estável, consequência da estabilidade das taxas de PPC e W deste caso de estudo, como se verifica na Figura 5.9. Na prática, esta situação verifica-se com o cumprimento dos prazos de projecto no caso A.

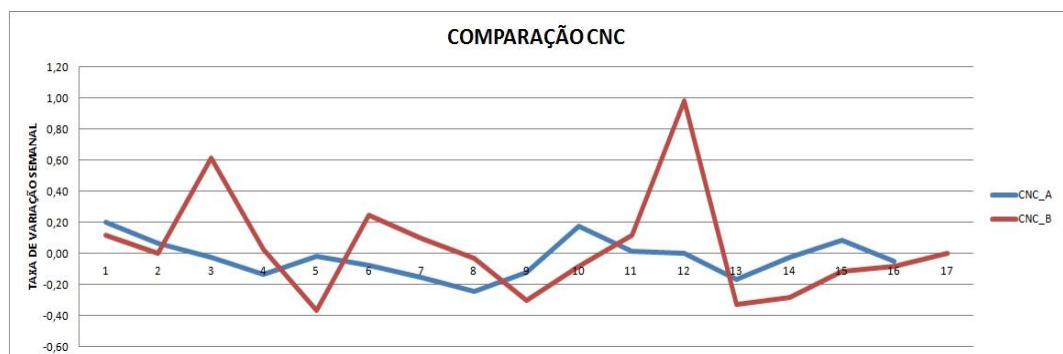


Figura 5.9 - Comparação da taxa de variação de CNC dos Casos de Estudo A e B

5.4. Utilidade do BWE

Propõe-se que o índice BWE seja utilizado na monitorização da *performance* dos sub-sistemas do LPS e nos níveis/detalhe de planeamento a considerar nas empreitadas com controlo de produção tradicional. Assim, torna-se necessário utilizar um valor de BWE de referência. Alarcón e Zegarra sugerem o valor unitário, como representação de uma situação *pull* ideal. Partindo desse valor, define-se um valor superior à unidade como representativo de uma situação *push*, na qual a variação é excessiva e um valor inferior à unidade como um estado de latência em relação ao equilíbrio. No entanto, na prática, cada caso é um caso e estes valores tendem a ser indicativos, pelo que os valores de equilíbrio de BWE para os diferentes sub-sistemas/níveis devem considerar uma margem que permita alguma latência e/ou *push*.

Para o caso do LPS, o índice BWE é entendido como a capacidade de resposta de um sub-sistema em relação à variação no sub-sistema a montante do modelo causal. Desta forma, e tendo por base o valor de referência indicado, essa capacidade de resposta pode revelar-se sensível – para valores superiores ao de referência – ou insensível – para valores inferiores ao de referência. Pelas razões apontadas, o BWE pode ser utilizado para controlar a resposta dos sub-sistemas uns em função dos outros que se lhe relacionam e ajustá-los com base nessa resposta. O Quadro 5.4 relata a utilidade do BWE face aos diferentes sub-sistemas do LPS.

Quadro 5.4 - Utilidade do Índice BWE no LPS (adaptado de Alarcón e Zegarra, 2012)

Relação	Utilidade Índice BWE
	Monitorizar a capacidade de resposta a:
LA:M	Excesso/Insuficiência de <i>pulling</i> do volume de actividades
W:LA	Atribuição de volume de trabalho semanal
R:LA	Identificação de restrições
W:R	Geração de atribuição de actividades tendo em conta as restrições
CNC:W	Identificação/Detecção de problemas

No caso do controlo de produção tradicional, dada a habitual ausência de níveis de planeamento que não o plano geral, o índice BWE é entendido não como a capacidade de resposta dos sub-sistemas – que são inexistentes – mas como um indicador que permita a percepção da necessidade de implementação oficial de níveis mais detalhados de planeamento face à realidade da empreitada.

Desta forma, a utilização da relação LA:M funciona como um indicador do excesso ($BWE > 1$) ou insuficiência ($BWE < 1$) de detalhe nos itens considerados no plano geral face às actividades a serem efectivamente realizadas. Esta relação pode ainda servir como critério para tomadas de decisão relativamente à necessidade de reavaliar a quantidade de trabalhos inicialmente considerada no mapa de quantidades (MQT), numa altura ainda inicial da empreitada, de forma a minorar os impactos negativos que essa detecção tardia pode ter no cumprimento de prazos ($BWE \ll 1$), especialmente se aliada a valores inferiores à unidade na relação W:LA.

A relação W:LA é especialmente útil como complemento de utilização do critério acima descrito ($BWE < 1$). Pode ainda ser utilizada como forma de discernir se as metas para datas de conclusão de actividades a médio prazo são demasiado ambiciosas ou se a produtividade das equipas em questão se situa abaixo do esperado e se é de considerar uma redistribuição do trabalho ($BWE > 1$). Esta última hipótese deverá ser sobretudo considerada se for aliada a valores do índice superiores à unidade para a relação CNC:W.

Para verificar a eficácia do controlo de produção relativamente à identificação de restrições quanto a actividades de médio prazo cuja data de conclusão seja identificada nas reuniões de andamento de trabalhos, deve-se utilizar a relação R:LA. Valores do índice superiores à unidade evidenciam a volatilidade do número de restrições identificadas face às actividades a realizar, situação na qual se deve examinar se a identificação de restrições está a ser efectuada de forma correcta.

A relação W:R revela-se interessante quanto à *performance* semanal face às restrições identificadas. Um valor de $BWE \gg 1$ nesta relação deverá indiciar a sobrecarga de actividades delegada nas equipas de produção face às restrições encontradas ou a falta de produtividade das equipas face a essas restrições. Para discernir uma situação da outra, deve-se recorrer à análise do PPC das equipas em questão.

Quanto à relação CNC:W, um valor de BWE superior à unidade deverá servir para complementar a informação relativa à redistribuição de actividades, referida para a relação W:LA.

Em qualquer das relações acima descritas, um valor muito superior ou muito inferior à unidade deve ser indicativo da necessidade de implementação de níveis de planeamento mais detalhados face aos existentes, bem como a execução de relatórios periódicos relativos a causas de não cumprimento, restrições ou outros factores que influenciem a variabilidade inerente à empreitada em questão.

O Quadro 5.5 resume a proposta de utilidade do índice para o controlo de produção tradicional.

Quadro 5.5 - Utilidade do Índice BWE no controlo de produção tradicional

Relação	Utilidade Índice BWE	
	Indicador de:	Valor Índice
LA:M	Excesso/Insuficiência de detalhe no plano geral	$BWE > 1 / BWE < 1$
	Reavaliação MQT	$BWE \ll 1$
W:LA	Complemento à Reavaliação MQT	$BWE < 1$
	Produtividade Equipas/Redistribuição Trabalho	$BWE > 1$ (Complementar com PPC)
	Exequibilidade metas médio prazo	
R:LA	Eficácia identificação de restrições	$BWE > 1$
W:R	Sobrecarga Equipas/Baixa produtividade	$BWE \gg 1$ (Complementar com PPC)
CNC:W	Complemento à redistribuição de actividades	$BWE > 1$

Desta forma, quer para o LPS quer para o controlo de produção tradicional, sugere-se que o índice BWE seja utilizado nas empreitadas como um *Key Performance Indicator* (KPI), permitindo aos intervenientes na gestão um controlo mais aprofundado da variabilidade inerente a ambos os sistemas de produção.

Os KPI's ajudam as empresas a perceber até que ponto a *performance* de determinado projecto - ou mesmo da empresa em si – está em linha com os seus alvos estratégicos e objectivos. As razões pelas quais se mede o desempenho num projecto estão normalmente relacionadas com o objectivo da melhoria contínua, com a necessidade de demonstrar a conformidade e com o objectivo de controlar e monitorizar processos. Assim, aliando a necessidade da indústria da construção para a identificação de um conjunto de indicadores a serem utilizados pelos gestores de projecto (Cox e Issa, 2003) à necessidade do controlo da variabilidade nos projectos de construção, o KPI de BWE pode ser utilizado com o objectivo referido nos Quadro 5.4 e Quadro 5.5, dependendo do tipo de controlo de produção utilizado. Dado que para a utilização de KPI's é exigida a definição de um *benchmark*, sugere-se que para este indicador se utilize o valor unitário que, como referido, traduz uma situação *pull* ideal, desde que a este valor seja associado uma

margem de erro – cuja quantificação carece de aplicação prática. Esta margem de erro advém da referida necessidade de uma banda de valores que permita algum nível de latência/*push*, dado que em qualquer projecto é preciso balancear medidas qualitativas e quantitativas para obter a melhor *performance* possível.

5.5. Limitações do BWE

A utilização do BWE é limitada pela utilização da tendência dos resultados na análise. A existência de picos de variabilidade pontuais relacionados com variações externas – por exemplo greves ou condições climáticas extremas - tenderia a tornar os valores de BWE superiores aos efectivamente calculados. No entanto, dado que se pretende analisar os sistemas subjacentes do LPS sem essas influências externas, utilizou-se a tendência (Alarcón e Zegarra, 2012).

Por outro lado, relativamente ao controlo de produção tradicional, a utilização do índice BWE é limitado pela existência de dados que permitam calcular de forma fiável as variáveis – como por exemplo a actualização semanal de planeamento e reuniões semanais de andamento dos trabalhos. Para além disso, o indicador não permite, por si só, uma análise da variabilidade inerente a cada variável. Desta forma, é aconselhada uma análise das taxas de variação semanal em conjunto com a utilização do índice, dado que estas podem validar a necessidade de implementação de um controlo de produção mais eficiente do que o utilizado.

No caso da empresa do Caso de Estudo B, após análise das taxas de variação semanal, verifica-se que a implementação do LPS nessa empreitada teria sido uma opção que, embora dispendiosa em termos de tempo numa fase inicial de habituação dos intervenientes, provavelmente ter-se-ia vindo a verificar benéfica.

6. CONCLUSÕES

A implementação do LPS em empreitadas por parte das empresas tem-se revelado uma aposta de sucesso na maior parte dos casos. No entanto, verifica-se que para tirar o maior partido deste sistema, a implementação do LPS tem de ser completa e a todos os níveis. Nesses casos consegue obter-se uma média de PPC na ordem dos 80% (Alarcón *et al.*, 2008), valor bastante superior aos obtidos com um controlo de produção tradicional.

Apesar dos bons resultados obtidos com a implementação do LPS, a base conversacional deste sistema gera padrões de variabilidade que influenciam a performance do processo. Quando essa variabilidade passa de uns sub-sistemas do LPS para os outros e se amplifica, gera-se o fenómeno de BWE.

Se por um lado o BWE está presente no LPS, sistema desenhado como tendo um dos intuitos principais a redução da variabilidade, é expectável que a variabilidade presente em sistemas de controlo tradicionais se revele ainda mais elevada. Desta forma, e tendo em conta que os sistemas de controlo tradicionais continuam a ser a norma na maioria das empresas a nível mundial, a análise do fenómeno BWE torna-se relevante, por forma a mitigar a variabilidade inerente à gestão da construção.

Todos os objectivos delineados no início deste documento, quer o principal quer os parciais, foram atingidos com êxito. Foi detectada e analisada a presença de BWE em empreitadas com recurso ao LPS e com controlo de produção tradicional e o impacto que este fenómeno incute na fase de construção.

Primariamente efectuou-se um estudo subordinado aos temas de LC, LAP, LPS, Variabilidade e BWE, de forma a compreender os conceitos inerentes às teorias que regem o LPS e a essência e presença do BWE. Foi ainda pesquisada e analisada uma metodologia que permitisse a detecção do BWE na cadeia de relações hierárquicas do LPS.

Em seguida desenvolveu-se um método que permitisse a obtenção de uma base de comparação entre o LPS e o método de controlo tradicional.

Os dois métodos supramencionados foram implementados em casos de estudo, permitindo assim a detecção do BWE nos dois métodos de controlo utilizados e a análise comparativa entre ambos.

6.1. Análise do alcance das hipóteses definidas

No início deste trabalho foi definida a hipótese de que o fenómeno de BWE existe tanto no LPS como com controlo de produção tradicional (H2), o que veio a confirmar-se e pode ser verificado no Quadro 5.3.

Na segunda hipótese de estudo (H3), propôs-se que, a existir, o BWE seria menos gravoso no LPS do que no controlo tradicional. Esta premissa não veio a verificar-se, dado que se detectou a presença de BWE em maior número de relações no caso de estudo referente ao LPS do que no caso referente ao controlo de produção tradicional. No entanto, aferiu-se que, independentemente da existência do fenómeno, a variabilidade associada ao controlo de produção tradicional é largamente superior à variabilidade existente no processo do LPS.

Foi ainda equacionada a existência de uma correlação entre a presença de BWE e o cumprimento do planeamento (H4). Esta hipótese de estudo também não se confirmou. Verifica-se que a presença de BWE tem impacto na performance mas não afecta directamente o PPC. Este índice é mais afectado pela volatilidade das taxas de variação semanal – principalmente no que respeita à detecção de restrições e atribuição de tarefas semanal - do que pela transmissão de variabilidade de nível para nível.

Para dar resposta a estas questões, formulou-se uma hipótese de estudo primária (H1), baseada na premissa de que seria possível calcular o PPC com base nos elementos de dados correntes no planeamento e seguimento de uma empreitada. Esta hipótese veio a ser confirmada e o método que a suporta encontra-se descrito na secção 3.4.

6.2. Contribuições do estudo

O presente trabalho permitiu apontar a quantificação do BWE como um índice a ser utilizado no controlo da produção de empreitadas, quer nas que utilizem o LPS, quer nas que recorram a métodos de controlo tradicionais.

Verificou-se que o índice BWE pode ser utilizado na monitorização e controlo de cada sub-sistema do LPS e, com base na capacidade de resposta, ajustar os sub-sistemas de forma a optimizá-los. Dada a perspectiva de que nas empreitadas que contemplam uma implementação formal do LPS se conseguem valores de PPC bastante elevados face aos conseguidos sem este sistema (Alarcón *et al.*, 2008), a utilização do índice BWE prevê-se benéfica na medida em que pode contribuir para uma gestão mais eficaz das conversações no LPS. Esta utilização permite assim reduzir a variabilidade associada a este sistema de controlo e melhorar o fluxo de trabalho, elevando os níveis de PPC e de produtividade para níveis superiores aos actualmente atingidos.

No caso dos métodos de controlo tradicionais, é proposto que o BWE seja utilizado como um indicador que permita a percepção da necessidade de implementação oficial de níveis mais detalhados de planeamento – ou completa alteração da filosofia de controlo - face à realidade da empreitada. Propõe-se ainda que o índice BWE seja utilizado no controlo de variáveis que têm influência directa na *performance* ou no cumprimento de prazos da empreitada. Uma vez que a maioria das empresas ainda não adoptou a utilização do LPS, o índice BWE ajuda a revelar a necessidade de transição do sistema de controlo de uma empreitada tradicional para um sistema de controlo mais *lean*. Nos casos em que a transição não seja possível – ou desejada – o índice

BWE permite a identificação de aspectos a melhorar na gestão, contribuindo assim para um controlo de produção mais eficaz e competitivo, através da mitigação de aspectos causadores de variabilidade e desperdício.

Em qualquer dos casos, LPS ou tradicional, é ainda sugerido que o BWE seja utilizado como um indicador KPI que permita aos intervenientes na gestão o controlo da variabilidade inerente a ambos os sistemas de produção, através de um *benchmark* que aproxima a situação de equilíbrio ideal de uma situação *pull*.

Para além do mais, o método proposto para a base de comparação entre o controlo tradicional e o LPS fundamentado em elementos de dados correntes em empreitadas, permite futuras análises quantitativas relacionadas com taxas de variação semanal em sistemas de controlo tradicional face ao LPS.

6.3. Limitações do estudo

As diferentes dimensões das empreitadas dos casos de estudo e a pouca heterogeneidade das actividades presentes numa empreitada face à outra, limitaram a comparação total da variabilidade inerente às variáveis estudadas.

Para além disso, o estudo do BWE depende totalmente da existência de elementos que permitam a análise das variáveis estudadas neste trabalho. Como tal, o caso de estudo relativo ao controlo de produção tradicional ficou limitado a uma empresa que efectuasse um rigoroso controlo dos trabalhos e do andamento dos mesmos.

6.4. Propostas para trabalhos futuros

Pretende-se que este trabalho sirva de base para futuros estudos relativos à influência da variabilidade no controlo da produção e formas de mitigação da mesma. É sugerido que se estude a aplicação do índice BWE como um indicador KPI na prática, recorrendo a implementação em caso de estudo. Esta abordagem é interessante visto que se sugere que a utilização deste índice como KPI possa otimizar a *performance*/cumprimento de prazos em empreitadas, nomeadamente no que respeita a:

- Nível de detalhe no plano geral;
- Produtividade de equipa ou redistribuição de tarefas;
- Reavaliação do MQT;
- Exequibilidade de metas/prazos considerados.

Torna-se também relevante quantificar os benefícios introduzidos por esse indicador em empreitadas, bem como a utilização do índice BWE como critério para a implementação/alteração de níveis oficiais de planeamento mais detalhados do que os utilizados na empreitada em questão.

7. BIBLIOGRAFIA

ABDULMALEK, F. e RAJGOPAL, J. - *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study*. International Journal of Production Economics, vol. 107, nº 1, págs. 223-236. 2007.

ALARCÓN, L.; DIETHELM, S.; ROJO, O. e CALDERÓN, R. - *Assessing the impacts of implementing lean construction*. Revista ingeniería de construcción, vol. 23, págs. 26-33. 2008.

ALARCÓN, L. e ASHLEY, D. - *Playing games: Evaluating the impact of lean production strategies on project cost and schedule*. In : Proceedings of the 7th annual conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, U.S.A., vol. 7, pp.263-274. 1999.

ALARCÓN, L. e CALDERÓN, R. - *A Production Planning Support System for Construction Projects*. In : Proceedings of the 11th annual conference of the International Group for Lean Construction, Virginia, U.S.A. 2003.

ALARCÓN, L. e ZEGARRA, O. - *Identifying the Bullwhip Effect of the Last-Planner Conversations During the Construction Stage*. In : Proceedings of the 20th annual conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, U.S.A. 2012.

ALSEHAIMI, A.; TZORTZOPOULOS, P. e KOSKELA, L. - *Last planner system: Experiences from pilot implementation in the Middle East*. In : Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, pp.53-65. July, 2009.

BALLARD, G.; HOWELL, G. e CASTEN, M. - *PARC: A Case Study*. In : Proceedings of the 4th International annual conference of the International Group for Lean Construction, Universidade de Birmingham, U.K. 1996.

BALLARD, G.; KOSKELA, L.; HOWELL, G. e ZABELLE, T. - *Production System Design in Construction*. In : Proceedings of the 9th annual conference of the International Group for Lean Construction, Singapura 2001.

BALLARD, G. - *The last planner*. Northern California Construction Institute, Monterey, 1994.

BALLARD, G. - *Lookahead Planning: The missing link in Production Control*. In : Proceedings of the 5th annual conference of the International Group for Lean Construction, Australia 1997.

BALLARD, G. - *Improving Workflow Reliability*. In : Proceedings of the 7th International Group for Lean Construction, Berkeley, USA 1999.

BALLARD, G. - *The Last Planner System of Production Control*. Tese de doutoramento. Universidade de Birmingham, 2000.

BALLARD, G. e HOWELL, G. - *Implementing lean construction: stabilizing work flow*. Lean construction, págs. 101-110. AA Balkema The Netherlands, 1994.

BALLARD, G. e HOWELL, G. - *Shielding production: Essential step in production control*. Journal of Construction Engineering & Management, vol. 124, nº 1, págs. 11. 1998.

BALLARD, G. e HOWELL, G. - *An Update on Last Planner*. In : Proceedings of the 11th annual conference of the International Group for Lean Construction, U.S.A. 2003.

BHASIN, S. e BURCHER, P. - *Lean viewed as a philosophy*. Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 17, págs. 56-72., 2006.

BORTOLAZZA, R.; DAYANA, C. e FORMOSO, C. - *A Quantitative Analysis of the Implementation of the Last Planner System in Brazil*. In : Proceedings of the 13th annual conference of the International Group for Lean Construction, Australia 2005.

BRODETSKAIA, I. e SACKS, R. - *Understanding Flow and Micro-Variability in Construction: Theory and Practice*. In : Proceedings of the 15th annual conference of the International Group for Lean Construction, Michigan, U.S.A. 2007.

CACHON, G. P.; RANDALL, T. e SCHMIDT, G. M. - *In search of the bullwhip effect*. Manufacturing & Service Operations Management, vol. 9, nº 4, págs. 457-479. INFORMS, 2007.

CLEMENTE, J. - *Sinergias Bim-Lean na redução dos tempos de interrupção de exploração em obras de manutenção de infraestruturas de elevada utilização - Um Caso de Estudo*. Dissertação de mestrado. FCT-UNL, Monte da Caparica, 2012.

COELHO, L.; FOLLMANN, N. e T., C. - *O impacto de compartilhamento de informações na redução do efeito chicote na cadeia de abastecimento*. Gestão e Produção, vol. 16 2009.

COX, R. e ISSA, R. - *Management's Perception of Key Performance Indicators for Construction*. Journal of Construction Engineering & Management, vol. 129, págs. 142-152. 2003.

CROSTHWAITE, D. - *The global construction market: a cross-sectional analysis*. Construction Management and Economics, vol. 18, nº 5, págs. 619-627. 2000.

Databison - *Control Chart in Excel.*, 2009. <http://www.databison.com/index.php/control-chart-in-excel/> (29/09/2012).

DEJONCKHEERE, J.; DISNEY, S. M.; LAMBRECHT, M. R. e TOWILL, D. R. - *The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective*. European Journal of Operational Research, vol. 153, nº 3, págs. 727-750. 2004.

DIEKMANN, J. e THRUSH, K. - *Project Control in Design Engineering*. Construction Industry Institute, Universidade do Texas, Austin, 1986.

Emery Asphalt and Paving Company - *Asphalt Smart*. Emery Asphalt and Paving Company, 2011. <http://www.asphaltsmart.com/> (06/11/2012).

FAYOL, H. - *Administration industrielle et générale: Prévoyance, organisation, commandement, coordination, controle.*, Dunod, 1970.

FERNÁNDEZ-SOLIS, J. - *The Systemic Nature of the Construction Industry*. In : CIB World Building Conference, Cape Town, África do Sul, pp.1598-1625. 2007.

FLORES, F. - *Management and Communication in the Office of the Future*. Tese de doutoramento. Universidade da California, Berkeley, 1982.

FORD, H. - *Today and Tomorrow.*, Productivity Press, 1926.

FORRESTER, J. - *Industrial Dynamics.*, The M.I.T. Press, 1958.

GARNETT, N.; JONES, D. e MURRAY, S. - *Strategic Application of Lean Thinking*. In : Proceedings of the 6th annual conference of the International Group for Lean Construction, Brasil 1998.

GEARY, S.; DISNEY, S. M. e TOWILL, D. R. - *On Bullwhip in Supply Chains - Historical Review, Present Practice and Expected Future Impact*. International Journal of Production Economics, vol. 101, nº 1, págs. 2-18. Elsevier, 2006.

GONZÁLEZ, V.; ALARCÓN, L.; MATURANA, S.; MUNDACA, F. e BUSTAMANTE, J. - *Improving Planning Reliability and Project Performance Using the Reliable Commitment Model*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 136, nº 10, págs. 1129-1139. 2010.

GRENHO, L. - *Last Planner System e Just-In-Time na Construção*. Dissertação de mestrado. FEUP, Porto, 2009.

HOPP, W. J. e SPEARMAN, M. L. - *Factory physics.*, McGraw-Hill Irwin Irwin, 2008.

HOWELL, G.; MACOMBER, H.; KOSKELA, L. e DRAPER, J. - *Leadership and Project Management: Time for a Shift from Fayol to Flores*. Project and Profits, vol. 60, págs. 51-58. 2004.

IFS - *Lean Manufacturing*. White Paper, 2004.

Industrial Technology Centre - *Principles of Lean Thinking - Tools & Techniques for Advanced Manufacturing*. <http://www.itc.mb.ca>, 2004. (05/09/2012).

Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce - *Engineering Statistics Handbook*. Variables Control Charts, 2003. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc32.htm> (10/Setembro/2012).

JOHNSTON, R. B. e BRENNAN, M. - *Planning or organizing: The implications of theories of activity for management of operations*. Omega, vol. 24, nº 4, págs. 367-384. 1996.

KILPATRICK, J. - *Lean Principles*. Manufacturing Extension Partnership, 2003.

KIM, D. e PARK, H.-S. - *Innovative construction management method: Assessment of lean construction implementation*. KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 10, págs. 381-388. Korean Society of Civil Engineers, 2006.

KOSKELA, L. - *Application of the new production philosophy to construction*. Tese de doutoramento. Universidade de Stanford, California, 1992.

KOSKELA, L. - *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Publications, vol. 4 Technical Research Centre of Finland , 2000.

KOSKELA, L. - *Making do - the eighth category of waste*. In : Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction August, 2004.

KOSKELA, L. e BERTELSEN, L. - *Construction Beyond Lean: A new Understanding of Construction Management*. In : Proceedings of the 12th annual conference of the International Group for Lean Construction, Dinamarca 2004.

KOSKELA, L. e HOWELL, G. - *The Theory of Project Management: Explanation to Novel Methods*. In : Proceedings of the 10th annual conference of the International Group for Lean Construction, Brasil 2002.

KOSKELA, L. e HOWELL, G. - *The underlying theory of project management is obsolete*. In : The PMI Research Conference, pp.293-302. June, 2002.

LAUFER, A.; TUCKER, R.; SHAPIRA, A. e SHENHAR, A. - *The multiplicity concept in construction project planning*. Construction Management & Economics, vol. 12, nº 1, págs. 53. 1994.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V. e WHANG, S. - *The Bullwhip Effect In Supply Chains*. Sloan management review, vol. 38, nº 3, págs. 93-102. 1997.

LEE, H.; PADMANABHAN, V. e WHANG, S. - *Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect*. Management Science, vol. 50, nº 12 supplement, págs. 1875-1886. 2004.

MACOMBER, H. e HOWELL, G. - *Linguistic Action: Contributing to the theory of lean construction*. Proceedings of the 11th Annual Meeting of the International Group for Lean Construction. Blacksburg, Virginia, págs. 1-10. 2003.

MACOMBER, H. e HOWELL, G. - *Two Great Wastes in Organizations*. In : Proceedings of the 12th annual conference of the International Group for Lean Construction, Copenhaga, Dinamarca 2004.

METTERS, R. - *Quantifying the bullwhip effect in supply chains*. Journal of Operations Management, vol. 15, nº 2, págs. 89-100. 1997.

OHNO, T. - *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon, Productivity Press, 1988.

OSÓRIO, F. - *Gestão de empreitadas em empreendimentos de construção de grande dimensão - Um sistema colaborativo numa abordagem Lean*. Dissertação de mestrado. IST-UTL, Lisboa, 2010.

PENEIROL, N. - *Lean Construction em Portugal - Caso de estudo de implementação de sistema de controlo da produção Last Planner*. Dissertação de mestrado. IST-UTL, Lisboa, 2007.

PORWAL, V.; FERNÁNDEZ-SOLÍS, J.; LAVY, S. e RYBKOWSKI, K. - *Last Planner System Implementation Challenges*. In : Proceedings of the 18th annual conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel 2010.

ROBINETTE, C. J. e WILLIAMS, R. C. - *The effects of construction variability on the superpave simple performance test*. Journal of ASTM International, vol. 3, págs. 1-12. 2006.

RUDDOCK, L. e LOPES, J. - *The construction sector and economic development: the Bon curve*. Construction Management and Economics, vol. 24, nº 7, págs. 717-723. Routledge, 2006.

RULLER, D. - *Kent 360*. Kent 360, 1996. <http://www.kent360.com/1569-portage-county-chip-and-seal-street-work-in-kent.html> (06/11/2012).

SAHOO, A.; SINGH, N.; SHANKAR, R. e TIWARI, M. - *Lean philosophy: implementation in a forging company*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 36, págs. 451-462. Springer London, 2008.

SANTOS, A. e POWELL, J. - *Potential of Poka-Yoke devices to reduce variability in construction*. In : Proceedings of the 7th annual conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, U.S.A. 1999.

SCHOOP, M. - *An introduction to the language-action perspective*. ACM SIGGROUP Bulletin, vol. 22, nº 2, págs. 3-8. ACM, 2001.

SHEN, L. e CHUA, K. - *Impact of Variability on Construction Schedules*. In : Proceedings of the 13th annual conference of the International Group for Lean Construction, Australia 2005.

SPENCE, R. e MULLIGAN, H. - *Sustainable development and the construction industry*. Habitat International, vol. 19, nº 3, págs. 279-292. 1995.

STERMAN, J. D. - *Operational and behavioral causes of supply chain instability*., Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK, 2006.

TAYLOR, J. e BJORNSSON, H. - *Construction Supply Chain Improvements through Internet Pooled Procurement*. In : Proceedings of the 7th annual conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, U.S.A. 1999.

THOMAS, H.; HORMAN, M.; LEMES, U. e ZAVRSKI, I. - *Reducing Variability to Improve Performance as a Lean Construction Principle*. Journal of Construction Engineering & Management, vol. 128, nº 2, págs. 144. 2002.

TOMMELEIN, I.; RILEY, D. e HOWELL, G. - *Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 125, págs. 304-310. 1999.

VRIJHOEF, R. e KOSKELA, L. - *Revisiting the three peculiarities of production in construction*. In : Proceedings of the 13th International Group for Lean Construction Conference, Australia, pp.19-27. July, 2005.

WILCK, J. - *Managing the Bullwhip Effect*. Unpublished Ph.D. Dual Degree, Industrial Engineering and Operations Research, College of Engineering, vol. (available at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.1891\&rep=rep1\&type=pdf> 2006.

WOMACK, J.; JONES, D. e ROOS, D. - *The Machine that Changed the World*. New York, Rawson Associates, 1990.

WOMACK, J. e JONES, D. - *Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation* / James P. Womack and Daniel T. Jones. Nova Iorque, U.S.A., Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, J. e JONES, D. - *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.*, Free Press, 2003.

YU, H.; TWEED, T.; AL-HUSSEIN, M. e NASSERI, R. - *Managing Variability in House Production*. In : Proceedings of the 15th annual conference of the International Group for Lean Construction, Michigan, U.S.A. 2007.

ZHANG, J.; EASTHAM, D. e BERNOLD, L. - *Waste-Based Management in Residential Construction*. Journal of Construction Engineering & Management, vol. 131, nº 4, págs. 423-430. 2005.